فيليب م. دوبر
ريتشارد أ. مولر



الانفجارات الثلاثة العظمى



المشروع القومي للترجمة



ترجمة
فتح الله الشيخ
أحمد السماحى

688

المشروع القومى للترجمة

إشراف : جابر عصفور

- العدد : ٦٨٨
- الانفجارات الثلاثة العظمى
- فيليب م. دوبر ، وريتشارد أ. مولر
- فتح الله الشيخ ، وأحمد السماحى
- الطبعة الأولى ٢٠٠٤

هذه ترجمة كتاب :

The Three Big Bangs :

Comet Crashes, Exploding Stars, and the Creation of the Universe

by : Philip M. Dauber

and Richard A. Muller

Copyright © 1996 by philip M. Dauber and Richard A. Muller

First published in the United States by Basic Books, A member of the Perseus Books Group

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمجلس الأعلى للثقافة

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St., Opera House, El Gezira, Cairo

Tel : 7352396 Fax : 7358084

المحتويات

مقدمة المترجمين 7

مقدمة المؤلفين 9

الفصل الأول : الصدمات الثلاث العظمى 11

الفصل الثاني : الارتطام بالمشترى 17

الفصل الثالث : الأرض هى الهدف 25

الفصل الرابع : المجادلة 41

الفصل الخامس : دليل الجريمة 49

الفصل السادس : الكويكبات 57

الفصل السابع : المذنبات 67

الفصل الثامن : نيميسيس والفناء الشامل 79

الفصل التاسع : حرس الفضاء 91

الفصل العاشر : التصادمات والتطور 103

الفصل الحادى عشر : نجم جديد 111

الفصل الثاني عشر : نحن والنجوم 119

الفصل الثالث عشر : حياة وممات النجوم 129

الفصل الرابع عشر : الذرية الغريبة للمستعرات العظمى 139

الفصل الخامس عشر : قناصو المستعرات 147

الفصل السادس عشر : الخـلـق 159

الفصل السابع عشر : المجـرات 167

الفصل الثامن عشر : الموجات الميكروية السماوية 177

الفصل التاسع عشر : لقطة من لحظة الخلق 189

الفـصل العـشـرون : المادة والمادة المضـادة 199

الفصل الحادي والعشرون : الأكوان المحدودة واللا محدودة 211

الفصل الثاني والعشرون : الشموع الكونية 223

الفصل الثالث والعشرون : عودة إلى الصدمات الثلاث العظمى 231

التـعليق على الصـور 239

مقدمة المترجمين

تتزامن عصور النهضة والتقدم الحضاري في تاريخ الأمم والشعوب مع الانفتاح على الثقافات والحضارات الأخرى ، ولعل أهم وأخطر قنوات الانفتاح هي الترجمة من وإلى اللغات الأخرى ، وإذا كانت الترجمة عمومًا مطلوبة لتحقيق هذا الانفتاح الثقافي والحضاري ، فإن انتقاء ما يترجم لابد أن يواكب متطلبات النهضة والتقدم ، وثقافة العصر هي العلوم ، العلوم بمعناها الحديث ، أي العلوم الفيزيائية والبيولوجية ، أو العلوم الدقيقة مقابل ما اتفق على تسميته العلوم الإنسانية . العصر عصر علم ومعلومات واتصالات ... وعولمة ، سواء مرفوضة أو مقبولة ، وسواء كانت عولمة طيبة أو شرسة ، لكنها تطل علينا وبإلحاح ، والمشروع القومي للترجمة يشكل جسر اتصال وبوابة انفتاح مع الثقافة والحضارة العالميتين ، وهما - الجسر والبوابة - ثروتان قوميتان يجب ألا يغلقا أبدًا ، غير أن تصيب العلوم متواضع أشد التواضع إذا قورن بنصيب الإنسانيات في عبور الجسر والبوابة ، والأمل معقود أن يزداد هذا النصيب ولو إلى الربع أو حتى الخمس ، ونحن نقدر للمجلس الأعلى للثقافة جهوده في هذا المشروع القومي ، ونثمن - عن خبرة ودراية - الإنجازات التي يحققها المجلس في مجال الترجمة ، وعلى وجه الخصوص ترجمة كتب العلوم ؛ حيث الصعوبات أعظم والمخاطر أشد .

والكتاب الذي نقدمه بالعربية للقارئ يتناول موضوعات علمية كانت على طول التاريخ وقفًا على الفلاسفة فقط ، حتى تجرأ العلماء وخاضوا فيها ، وهذه الموضوعات تبدأ في الكتاب بتسلسل عكسي للتاريخ ، فالأحداث التي وقعت في بداية الكون (منذ حوالي ١٥ بليون سنة) هي آخر حلقات الكتاب ، يسبقها حلقة انفجار مستعر أعظم مكونًا المجموعة الشمسية (منذ حوالي ٤,٥ بليون سنة) ، أما أحدث الحلقات فقد جاءت في بداية الكتاب وهي اصطدام شهاب أو نيزك بكوكب الأرض وفناء الأنواع الحية بما فيها الديناصورات (منذ ٦٥ مليون سنة) .

وقد بذلنا جهدنا أن ننقل للقارئ العربي العرض الشيق والتسلسل الخاص للأفكار العلمية والأحداث الواردة في الكتاب ملتزمين التزامًا تاما بوجهة نظر المؤلفين، واضعين نُصب أعيننا أمانة الكلمة وحاجة المكتبة العربية إلى مثل هذه الكتب العلمية الحديثة، وقد واجهنا صعوبات في ترجمة المصطلحات العلمية والتقنية، لكننا تغلبنا عليها باللجوء إلى ما أصدرته المجامع اللغوية العربية، وما قال به المتخصصون من الزملاء الأفاضل، وما توصلنا إليه نحن بعد " نقاش " هادئ أحيانًا وغير ذلك في أحيان أخرى، وقد حاولنا أن تكون للترجمة النكهة والمذاق العربيان حتى يستسيغها القارئ ولا ينكر عليها الكثير.

في ختام كلمتنا نرجو أن نكون قد أصبنا بعض التوفيق فيما حاولنا، شاكرين للزملاء الأفاضل مساهمتهم في استقصاء بعض المصطلحات، ونخص بالشكر الأستاذين الجليلين الدكتور عبد العال مباشر، نائب رئيس جامعة أسيوط الأسبق، والدكتور محمود القرماني الأستاذ بجامعة أسيوط؛ على ملاحظاتهما القيمة على النص العربي والتي انتفعنا بمعظمها، وخالص الشكر للأستاذ الدكتور أحمد مستجير أستاذ الوراثة وعضو مجمع اللغة العربية لتحمسه لنشر الكتاب، وكل الشكر للمجلس الأعلى للثقافة وللقائمين على المشروع القومي للترجمة على هذا الجهد العظيم.

وبالله التوفيق

مقدمة المؤلفين

يركز هذا الكتاب عن "الأصل الفيزيائي للحياة على الأرض" على ثلاثة أحداث مهمة وعنيفة، وقد سمع كل إنسان تقريباً عن الحدث الأول - الصدمة العظمى الأولى - ولكن القليلين قد فهموه: خلق الكون كما يصفه العلماء اليوم بمصطلحات نظرية الانفجار الرهيب (Big Bang). أما الصدمة العظمى الثانية والأقل شهرة فهي المستعرات العظمى (Supernovae)، الانفجار الكارثي للنجوم الذي تكونت فيه العناصر الكيميائية التي يتشكل منها عالمنا و أجسامنا. والصدمة العظمى الثالثة هي ارتطام مذنب أو كويكب بالأرض محدثًا فناء لبعض الأنواع وازدهارًا للأنواع الأخرى. وقع هذا الحدث الرهيب منذ حوالي ٦٥ مليون سنة وقد أفنى تمامًا الديناصورات، وتسبب في الانتشار السريع لأنواع الثدييات التي تُوِّجت بالإنسان. ومن المحتمل أن تكون مثل هذه الصدمات قد حدثت مرات كثيرة خلال فترة ما قبل التاريخ، فإذا كان الأمر كذلك؛ فإن الارتطامات بالأجرام القادمة من خارج الأرض لابد أن تكون هي القوة الدافعة الرئيسية للتطور البيولوجي، وربما تكون في أهمية التنافس بين الأنواع. وفي يوليو سنة ١٩٩٤ ذكَّرنا الارتطام الذي حدث بين مذنب وكوكب المشترى ونتائجه المذهلة بالقوة المهولة للارتطامات الكوكبية.

وحتى نجعل هذا الكتاب مقبولاً من القراء غير المتخصصين فقد اخترنا أن نبدأ قصتنا في تسلسل تاريخي معكوس، بادئين بالارتطامات على المشترى والأرض، ومختتمين بالانفجار الكوني الرهيب نفسه. ويتناول الجزء الأول من الكتاب دراما الحياة والموت التي تعرضت لها المخلوقات الحية، بينما تهتم الأجزاء الأخرى بالأحداث العنيفة التي وقعت في قلب النجوم المنهارة أو في الكون المبكر حتى قبل أن تتكون النجوم، وبعد النظرة العامة في الفصل الأول، تولت الفصول من ٢ إلى ١٠ تقديم الدليل على الصدمات الكارثية ودورها في تطور الحياة، وتغطي الفصول من١١ إلى ١٥ انفجارات

المستعرات العظمى بشكل رئيسى ، بينما تلخص الفصول من ١٦ إلى ٢١ الانفجار الكونى الرهيب ، مؤكدة على أصولها فى النظرية النسبية لأينشتاين و الدليل المرئى على ذلك ، و يبين الفصل ٢٢ كيف تساعد المعرفة فى مجال المستعرات العظمى العلماء فى حل بعض أكثر الألغاز تعقيداً عن الكون، ثم يعيد الفصل ٢٣ بعد ذلك استعراض الأفكار الرئيسية للكتاب ويتطلع إلى اكتشاف المستقبل .

واليوم فإن قبساً من المعلومات الأساسية عن التطور البيولوجى يعد أمراً ضروريا للشخص المثقف، وليس أقل أهمية من ذلك أن نفهم المراحل الرئيسية فى التطور الفيزيائى للطاقة والمادة، وقد أخذنا فى اعتبارنا القارئ العادى، لذلك صممنا قصتنا فى هيئة رواية مثيرة لتنقل إليه الإحساس بالغموض العميق، لكننا قد هدفنا كذلك إلى أن يستخدم الكتاب كمرجع إضافى فى دروس الفيزياء والفلك ، وحتى نجعله فى متناول الناس والدارسين خارج و داخل حجرات الدرس : فقد جعلنا الفصول قصيرة نسبيا ، ونظمنا المادة فى جرعات سهلة الهضم .

ولا يدعى كتاب "الصدمات الثلاث العظمى" أنه سجل حديث - حتى آخر لحظة - لكل الأفكار فى علم الكون أو الصدمات أو بحوث المستعرات العظمى، و فى بعض الأحيان ، تتعرض المشاهدات الرائعة التى يرصدها بعض الباحثين إلى النقد من جانب مجتمع الفلكيين ، وذلك بغرض اختبار صحتها، وفى هذا الصدد لا تصمد الأفكار القائمة على التخمين طويلاً ؛ وقد فضلنا أن نركز على هذه الأفكار بدرجة أقل من تركيزنا على الأمور العجيبة التى نعرفها عن الصدمات الثلاث العظمى (**The Three Big Bangs**) .

فيليب م. دوبر

ريتشارد أ. مولر

الفصل الأول

الصدمات الثلاث العظمى

سنطلب منك فى هذا الكتاب أن تتخيل سلسلة من الأحداث على درجة من العنف تتضاءل أمامها معظم الجرائم الوحشية التى ارتكبتها البشرية ، وكذلك أكثر الكوارث الطبيعية التى وقعت على الأرض رعباً ، فحتى أصغر هذه الصدمات الثلاث ، وهى ارتطام الشهب بسطح الأرض منذ عدة ملايين من السنين، قد أطلقت من الطاقة المدمرة ما يفوق طاقة انفجار جميع الرءوس النووية التى أنتجت حتى الآن لو حدث وانفجرت فى لحظة واحدة ، وفى الحقيقة فإن تلك الطاقة المدمرة تتفوق على هذه المحرقة النووية عدة آلاف من المرات .

وما نود التوصل إليه فى هذا الكتاب هو أن نقنع القارئ بتلك الأحداث الرهيبة؛ لأنه إذا اقتنع بها وفهمها فإننا سندرك أصلنا .

قد تعلمنا أثناء دراسة التطور البيولوجى كيف تتنافس الأنواع مع بعضها تنافساً شديداً فى أكثر الأحيان حتى تنقرض الأنواع الضعيفة، وقد تعرض مفهوم هذا التطور البيولوجى لشكوك نتيجة الاكتشافات الحديثة خلال العقد الأخير، والأكثر من ذلك أن العلماء قد توصلوا حديثاً إلى بداية لفهم تطورنا الفيزيائى، حتى إننا نستطيع الكلام ليس فقط عن أصول بلادنا أو خلايانا، بل و حتى عن أدق مكوناتنا، و هى الذرات ، بصورة مفهومة، وقد تكون أكثر الأمور غرابة أننا قد بدأنا فى فهم أصول الكون نفسه، والذى تبعاً للنظرية الحالية لا يتضمن خلق المادة فقط، بل خلق الفضاء نفسه، و حتى خلق الزمن .

نحن نعلم الآن أن خلق العالم المادي قد تسيده عنف على درجة من الشدة يفوق كل المقاييس البشرية ، حتى إن البعض يعتبر أنه من المستحيل تخيله ، وقد بدأنا ندرك في السنوات الأخيرة أن العنف الموجود في الطبيعة هو مفتاح الإجابة عن سؤال يستحيل الإجابة عنه بطريقة أخرى وهو: كيف جئنا إلى هنا ؟

ويقبع هذا السؤال بشكل أخاذ - سواء للكبار أو الصغار - في صميم المعتقدات الأسطورية، والأديان البدائية منها، أو تلك الخاصة بالحضارات المتقدمة . كان العلماء في أكثر الأحيان لا يقدرون دور العنف الهائل المفاجئ في الطبيعة حق قدره؛ لسبب بسيط وهو أن هذا العنف نادر الحدوث، وعليه فإن خبرتنا به ضئيلة، ولكونه نادر الحدوث فإنه لا يشكل جزءًا من تصوراتنا ، فعلى سبيل المثال تعودنا أن نتخيل التطور كعملية تدريجية، وقد كانت التغيرات التطورية التي شاهدها داروين بطيئة كالذي حدث لأنواع الفراشات التي لم تنقرض : حيث غيرت من لونها ليتوام مع التغير في البيئة المحيطة، لكن فيما بعد دفع عالمان من علماء الحياة القديمة ومن أتباع داروين بأن نظرية التطور تحتاج إلى إعادة نظر شاملة، فقد قال ستيفان جاي جولد ودافيد روب (Stephen Jay Gould and David Rau) - وهما من المشهود لهما من علماء الحياة الأولى والتطور - إن التغيرات العظمى في الأنواع ربما تكون قد حدثت بصورة أكبر كنتيجة للأحداث فائقة الندرة والضخامة عنها كنتيجة للتنافس اليومي الدائم .

ويعجز قاموسنا اللغوي عن إيجاد لفظ يعبر عن مثل هذه الأحداث المدمرة : ولعدم وجود تعبير أفضل فإننا نستخدم مصطلحًا كان أصلاً يخص نظرية كونية بعينها - "الانفجار العظيم" (Big Bang) . صك فريد هويل هذا المصطلح متندراً من النظرية الحديثة لصديقه جورج جامو (George Gamow) . ونتيجة لهذه الأحداث فإن لدينا الآن اسمًا خاصًا بها هو: زوال الكتلة (Mass Extinction) ، حيث إن معظم صور الحياة على الأرض قد دمرت تماماً بفعل هذه الأحداث .

يتناول هذا الكتاب ثلاثًا من الصدمات العظمى : الأولى هي الأقرب للمقاييس البشرية، وهي تلك التي حدثت منذ خمسة وستين مليون سنة ، ففي أحد الأيام و بدون سابق إنذار انهال على الأرض مصطدماً بعنف مُذَنّب (أو ربما شهاب) محدثًا تغييرات

أبدية في الحياة على كوكبنا . أحدثت الصدمة فجوة هائلة توجد حاليًا في يوكاتان في المكسيك ، وعقب الصدمة مباشرة تباعدت المحيطات والغابات والأدغال والغلاف الجوي بصورة مهولة ، ما زال العلماء مشغولين بفك أسرارها حتى الآن . اختفت الديناصورات ومعظم أشكال الحياة بما في ذلك غالبية الثدييات الموجودة حينئذٍ ، لكن بعض هذه الثدييات - وهم أجدادنا - تمكن من البقاء ليستمر ويزدهر. كانَ هناك الكثير من أمثال هذه الكوارث البيولوجية، لكن الوحيدة المفهومة أكثر من غيرها هي الكارثة التي وقعت عند مفترق العصرين الطباشيري و الثلثي (Cretaceous - Tertiary)، ويرجع ذلك إلى الاكتشافات المتميزة خلال الخمس عشرة سنة الأخيرة .

يعتبر الفلكيون الفيزيائيون الصدام بين مُذَنّب وكوكب الأرض حدثًا صغيراً إذا ما قورن بانفجار أو نشأة نجم كما حدث منذ خمسة بلايين من السنين، وهو الحدث الأكثر أهمية في تطورنا الفيزيائي عنه في التطور البيولوجي، وبينما يتساءل البيولوجيون "كيف نشأت الحياة ؟ وكيف أصبحت على ما هي عليه اليوم ؟" ، فإن الفيزيائيين يسألون في المقابل "كيف خلقت المادة التي نتكون منها ؟ وكيف تغيرت على مدى العصور؟ وما هي الصورة التي عليها هذه المادة الآن ؟"

عندما تكونت النجوم الأولى لم تكن الذرات موجودة فيها بحالتها الراهنة التي يتكون منها جسمك، لكن كان من الممكن اكتشاف أسلاف هذه الذرات مدفونة في عمق هذه النجوم. كان يستحيل التعرف على الكثير من هذه الذرات بالمرة ، فعلى سبيل المثال لم يكن الحديد الموجود كمكون أساسي في دمك الآن حديداً، بل غالبًا كان موجوداً على شكل هيدروجين وهليوم ، كذلك لم يكن قد تكون كل من الكربون والنيتروجين والاكسجين التي تدخل في تكوين جزيئاتك العضوية ، وخلال عدة بلايين من السنين التي أعقبت ذلك تم طبخ الهيدروجين و الهليوم في المحرقة النووية (Nuclear Holocaust) للنجوم لتخليق ذرات جديدة بواسطة الاندماج النووي الحراري، ولكن ظلت هذه الذرات مدفونة في أعماق النجوم ، وفي الصدمة العظمى الثانية تم تخليق هذه الذرات واندفاعها لتنتشر في الفضاء الكوني .

سبقت هذه الصدمة العظمى انقراض الديناصورات بحوالي ٥-١٠ بلايين من السنين. ينفجر النجم مسبوقًا بعلامات تحذير قليلة نافثًا الذرات الجديدة في نطاق من

الفضاء الكوني يبلغ مداه مئات من السنوات الضوئية. لقد كان ذلك مستعراً أعظم وبدونه لم يكن للحياة أن تظهر في هذا الجزء من الكون الذي يخصنا، حيث إن أي من العناصر اللازمة لها لم تكن لتوجد، وفي نهاية المطاف يتخلق من رماد هذا المستعر الأعظم نجم سيطلق عليه فيما بعد بواسطة المخلوقات التي تسير على قدمين اسم الشمس ، تكونت أجسام هذه المخلوقات من ذرات تم صكها داخل المستعر الأعظم ، وهي المخلوقات التي تقطن الكوكب الصغير المغلف بالماء و الذي تكوّن بالقرب من الشمس .

أما الصدمة العظمى الثالثة فهي التي تحمل أصلاً هذا الاسم (Big Bang) وهي التي نقرأ عنها في الصحف والمجلات العلمية والتي سبقت بكثير جداً الصدمتين الأخريين . إنه الانفجار المروع الأول الذي ضم كل الطاقة الموجودة في الكون ، وهو الانفجار الذي لا يفوقه انفجار آخر. إنه الحدث العنيف الذي تتضاءل إلى جواره كل أحداث العنف الأخرى . ومع أن أفكار العالم الكبير جورج جامو كانت تتضمن تخليق جميع عناصر الكون في إطار هذه الصدمة العظمى الأولى، إلا أننا نعرف الآن أن معظم هذه العناصر – عدا الهيدروجين و الهليوم – قد تخلق بعد ذلك بكثير داخل النجوم .

تطورت قصة الصدمة العظمى بشكل جعل عدداً قليلاً من الناس يتمكن من التنبؤ بها منذ أكثر من خمس وأربعين سنة عندما صيغت الفكرة في بدايتها . نحن ندرك الآن أن الصدمة العظمى هي الحدث الذي تخلق من خلاله الهيدروجين و الهليوم من جسيمات أكثر بدائية – وهي الحدث الأساسي الأكثر غموضاً . وسنورد هنا مفهوماً محيراً للعقول أكثر من فكرة خلق المادة : إن الفكرة المحيرة للعقول، والتي تجعل من الصدمة العظمى أمراً أخاذاً أن هذه الصدمة لا تمثل فقط خلق المادة داخل فراغ ولكنها تمثل خلق الفراغ نفسه ، وحيث إن الصدمة العظمى تمثل خلق الفراغ ، وبناء على فهمنا للنظرية النسبية فإن هذه الصدمة العظمى تعني أيضاً خلق الزمن .

لقد لعبت هذه الكوارث العظمى دوراً في تطورنا الفيزيائي والبيولوجي لم يحظ بالاعتراف إلا الآن فقط، فقد ظل العلماء يتجاهلون هذه الكوارث لمدة طويلة ، ويرجع ذلك في رأينا لكون الكوارث أحداثاً نادرة وبعيدة كل البعد عن خبرتنا اليومية. تعلم

العلماء أن يفسروا التغير المستمر برياضيات نيوتن ومن أعقبوه ، لكن الآن وفي نهاية القرن العشرين ، وبعد استنزاف كل التفسيرات الأخرى فإن العلماء يقدحون أذهانهم في مسائل ما لا يمكن تخيله ، ويأتي علم الكوارث في مقدمة العلوم الآن، لأنه يمثل الغموض الذي لم يطرقه أحد في غمرة الانتصارات العلمية التي وقعت في منتصف القرن العشرين . (يُعتبر الشواش أو التشوش "Chaos" مجالاً غامضاً آخر) ؛ ولأن الكوارث أصعب بكثير في فهمها من رياضيات نيوتن فقد تُركت لنا لنزيح الستار عن غموضها .

وقد حظي مؤلفا هذا الكتاب بميزة رائعة ، هي أنهما تمكنا من دراسة كل من هذه الصدمات الثلاث العظمى (كنا نمزح في بعض الأحيان بأن نسمي أبحاثنا سلسلة من الكوارث)، ومع أن الصدمات الثلاث تبدو وكأنها غير مرتبطة ببعضها البعض ، لكنها في الحقيقة مرتبطة، والرباط القوي الذي يشدها إلى بعضها هو مشاركتها العميقة في جذور الحياة على الأرض، ونحن عندما ندرس اصطدام الشهب بالأرض والانفجار المستعر الأعظم والانفجار الرهيب نفسه؛ فإننا في الواقع ندرس تاريخنا المشترك وتاريخنا الفعلي القديم ، وما ساقنا لدراسة كل هذه الأحداث هي رغبة دفينة في الوصول إلى معرفة : من أين جئنا ؟

الفصل الثانى

الارتطام بالمشترى

لم يحدث أبداً أن شاهد الفلكيون كارثة بمثل هذا العنف وعلى هذا القرب من الأرض ، كما لم يحدث أن صوب مثل هذا العدد الكبير من التلسكوبات نحو هدف وحيد من قبل ، ولم يحدث أن باحث السماء بكشف مبهر مثل ذلك منذ اكتشاف التلسكوب (أكثر من ٣٠٠ عام) واستخدامه بواسطة جاليليو. فبداية من ١٦ يوليو ١٩٩٤ انهالت على كوكب المشترى إحدى وعشرون شظية لمذنب وذلك بسرعة تقترب من ٦٠ كيلومتراً فى الثانية – حوالى ستين مرة أسرع من طلقة البندقية . كانت نتائج هذا الارتطام مدهشة؛ حتى إن الفلكيين الهواة تمكنوا من مشاهدته بعيونهم باستخدام تلسكوبات بسيطة من منازلهم ، وقد أظهرت التلسكوبات الكبيرة تفاصيل غاية فى الدقة لمجموعة من الصدمات العظمى كانت من الكبر بحيث لو حدثت على الأرض لاندثرت الحضارة التى نعرفها ، ولربما اندثرت معها كل الحياة البشرية .

كان يقدر قطر أكبر الشظايا ما بين ٣ إلى ٤ كيلومترات ، وقد انفجرت عند الارتطام على شكل كرة نارية مستعرة تساوى تقريباً حجم الأرض . كانت طاقة الصدمة تكافئ ٦ تريليونات طن من مادة T.N.T ؛ أى آلاف المرات أكبر من الطاقة المصاحبة لانفجار كل المخزون النووى. (فى التعبير العلمى ٦ تريليونات هى ٦ × ١٠، وفى الحاسب الآلى تظهر كالآتى: 6 E12 ، وفى كلتا الحالتين هى ٦ متبوعة بـ١٢صفراً). أخذت هذه الكرة النارية تدور فى حركة دوامية لعدة دقائق بعد الصدمة متوهجة بأشعة فى أغلبها تحت حمراء ، ثم أخذت تختفى تدريجيا تاركةً بقعة سوداء محاطة بحلقات رقيقة متمركزة ، قد يكون السبب فى تكونها موجات الهدير الصوتية. ظل موقع الشظية G

– مثل بعض الندبات العشرين الأخرى على الغلاف الجوى للمشترى – ظاهراً لشهور بعد ذلك . وكنتيجة لبعثرة الغبار الكبريتى الناتج عن أكبر الصدمات، فإن بقعة عظيمة قد تكونت حيث غطت مساحة يبلغ قطرها أكثر من ضعف قطر الأرض .

والمشترى عالم فى غاية البعد يختلف كثيراً عن أرضنا الصخرية المغطاة بالمياه، وكما نشاهده من الأرض فهو ثالث أكثر الأجرام لمعاناً فى السماء ليلاً مسبوقاً فى ذلك بالقمر وكوكب الزهرة فقط . يتكون هذا الكوكب العملاق فى الأغلب من الهيدروجين السائل محاطاً بسحب سميكة من غازات الهيدروجين والهليوم والميثان والإيثان وأول أكسيد الكربون وسيانيد الهيدروجين . أما الطبقة النهائية التى تعلو كل ذلك فهى غنية ببلورات النشادر المتجمد، وفى عمق الكوكب يوجد الماء على شكل بلورات من الجليد وعلى شكل سائل . وقد توصل الفلكيون الآن إلى أدلة على وجود مركبات كبريتية مثل هيدروكبريتيد الأمونيوم على هذا الكوكب .

وعند ارتطام كل شظية من شظايا المذنب بالغلاف الخارجى للمشترى تولدت موجة حرارية فجائية رفعت من درجة حرارة الغلاف عدة آلاف من الدرجات . حتى إن هذه الغازات قد توهجت بسطوع، وقد شاهدت سفينة الفضاء "جاليليو" هذه الومضات الأولية مباشرة من مسافة ١٥٠مليون ميل . أما المشاهدون من كوكب الأرض فكان عليهم الانتظار لعدة دقائق ليتمكنوا من رؤية الكرة النارية التى تكونت بعد انفجار الشظية ؛ وذلك حتى تصبح هذه الكرة فى مجال الرؤية بدوران الكوكب السريع حول نفسه (يستغرق دوران المشترى حول نفسه عشر ساعات فقط لكل دورة)، غير أن الفلكيين حول العالم تمكنوا من مشاهدة ألسنة طويلة من اللهب خلف أفق المشترى أحدثتها بعض الكرات النارية . وعندما سقطت هذه الألسنة من اللهب راجعة على غلاف المشترى تسببت فى تسخين جزيئات الغازات مرة أخرى . الأمر الذى أوجد نقاطاً لامعة فى مدى أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء . وقد تمكن الفلكيون الهواة والمحترفون من مشاهدتها، لكن هذه النقاط كانت معتمة فى مدى أطوال الأشعة المرئية . واكتشف العلماء لأول مرة غاز كبريتيد الهيدروجين وبعض جزيئات من مركبات أخرى الكبريت فى مواقع الصدام على كوكب المشترى – وغاز كبريتيد الهيدروجين هو المادة التى تعطى الرائحة المقززة للبيض الفاسد .

اكتشف العلماء فى مرصد "ناسا– NASA الفضائى الطائر "كويبر –Kuiper وجود الماء كذلك فى موقع الصدمات . وكانت كمية الماء فى موقع أى صدمة من هذه الصدمات تكافئ ما هو موجود فى كرة من الجليد قطرها ٤٠٠ متر . وما زال العلماء فى حيرة : هل جاءت هذه المياه من شظية المذنب أو من غلاف المشترى نفسه ؟

بعد أسبوع من ارتطام شظايا المذنب بالمشترى أصبح النصف الجنوبى للكوكب النصف الذى تعرض لهذا الارتطام – مغطى بأكثر من اثنتى عشرة بقعة تميز كل منها موقعاً للصدام .

كيف يمكن لهذه المصائب الكوكبية أن تحدث ؟ وما هو المعدل الذى ترتطم به المذنبات أو الأجرام الفضائية الأخرى بالكواكب ؟ وهل الأرض معرضة للصدام مثل المشترى ؟ وما الذى يمكن أن يحدث لنا إذا تعرضنا لصدام كونى ؟ ربما يكون العلماء قد وفقوا فى الخمس عشرة سنة الأخيرة للإجابة على بعض هذه الأسئلة فى ثقة متزايدة . وفى ضوء ما هو مفهوم الآن . فإن أحداث يوليو١٩٩٤ المذهلة هى تحذير لنا: إن كوكبنا ليس فى مأمن كما كنا نتصور من قبل .

اكتشف المذنب "شوميكر – ليفى ٩" Shoemaker Levy - 9 فى مارس ١٩٩٣ . وهو سلسلة من الأجسام التى ارتطمت بالمشترى . كان الفلكى الهاوى دافيد ليفى (David Levy) والفريق المكون من الزوجين كارولين (Carolyn) ويوجين شوميكر (Eugene Shoemaker) يبحثون لعدة سنوات عن مذنبات وأجرام أخرى قريبة من الأرض . وكانوا يواظبون على تصوير نفس القطع من السماء كل ليلة لسنوات متواصلة منتظرين ظهور كتلة من الجليد ليست معروفة من قبل أو صخرة أو أى جسم آخر يدخل القسم الداخلى النظام الشمسى بشكل درامى، ويُعدُّ اصطياد المذنبات – كباقى فروع العلم الحديث – لعبة تنافسية . كان ليفى والزوجان شوميكر يجيدون هذه اللعبة . بل ويعتبرون من أفضل من لعبوها، وقد اكتشفوا فيما بينهم العشرات من هذه الكتل الجليدية ذات الرءوس المتوهجة والذيول الطويلة .

فى مساء ٢٤ مارس كان هذا الفريق محظوظاً للغاية : كانوا يستخدمون واحداً من التلسكوبات عريضة المجال فى مرصد "بالومار" فى جنوب كاليفورنيا، وكانت الرؤية

ضعيفة واللوحات الفوتوغرافية الجيدة قليلة ، بل في الواقع كانت السماء ملبدة بالغيوم. كانوا يتناقشون فيما إذا كان عليهم أن يستمروا أصلاً في الملاحظة أو لا ؟ لكن ليفي وجد بعض الأفلام التالفة التي تعرضت صدفة للضوء فقرروا استخدامها؛ إذ لم يجدوا شيئاً آخر، ولا خسارة في استخدام هذه الألواح ، ولولا تفاؤل وحنكة داڤيد ليفي لبوغت العلماء بحادث ارتطام هذا المذنب بكوكب المشترى في يوليو ١٩٩٤ ، ولما تمكنوا من فهم هذه الظاهرة . في هذه الليلة أخذ الفريق قليلاً من الصور ثم انصرفوا للنوم .

وفي اليوم التالي استعرض فريق ليڤي وشوميكر الصور، وبالرغم من عدم وضوحها فقد وجدوا جسماً – لا يماثل أي شيء آخر سبق رؤيته – غير بعيد عن المشترى . كان هذا الجسم طويلاً على غير العادة وغير عريض ويوحي شكله بأنه هش وله ذنب مثل أي مذنب، لكن هل كان في الحقيقة مذنباً ؟ ولأنهم لم يتمكنوا من إلقاء نظرة أخرى على هذا الكشف الغريب بسبب السماء التي استمرت ملبدة بالسحب؛ فقد استعانوا بجيم سكوتي الذي يستخدم تلسكوب ٠.٩ متر (٣٦بوصة) من نوع مراقب الفضاء (Spacewach) بالمرصد القومي في كيت بيك في ولاية أريزونا، لدراسة الشهب ذات المسار الذي يقترب من مسار الأرض، وقد تمكن سكوتي بسرعة باستخدام هذا الجهاز القوي من تصوير الجسم الجديد بواسطة آلة تصوير رقمية وليس لوحاً فوتوغرافيا. أجل لقد كان ذلك مذنباً، ولكنه كان يتكون ، فيما يبدو ، من شظايا عديدة تمتد لمئات الآلاف من الكيلومترات .

وعندما وجه الفلكيون تلسكوباتهم الكبيرة جدا إلى آخر اكتشافات ليڤي وشوميكر؛ تمكنوا من إحصاء إحدى وعشرين شظية مرصوصة في خط مستقيم تقريباً، والأمر الأكثر غرابة أنهم وجدوا أن هذا المذنب الشبيه بعقد من اللؤلؤ لم يكن يدور حول الشمس، مثل معظم المذنبات، ولكنه كان في مدار حول كوكب المشترى نفسه، ومن الواضح أن هذا الكوكب العملاق قد تمكن من اقتناص المذنب على الأرجح خلال العشر سنوات الأخيرة بواسطة مجال جاذبيته القوي، وقد أظهرت حسابات مختبر الدفع النفاث في بسادينا أن أقصى بُعد لمدار المذنب عن كوكب المشترى هو ٣١ مليون ميل،

وأقرب بُعد هو ١٦ ألف ميل ، وكانت قوى المد الناشئة عن جاذبية الكوكب العملاق قد مزقت هذا المذنب إلى عدد من الشظايا يوم ٧ يوليو ١٩٩٢ ، وعندئذ بينت الحسابات أن المذنب مقدر له الارتطام بالكوكب العملاق في يوليو ١٩٩٤ .

وتساءل العلماء باستغراب : ما الذي سيحدث عند ارتطام المذنب ؟ و ما الذي يشاهده من الأرض، لو كان هناك ما يمكن مشاهدته فعلاً ؟ آخذين في الاعتبار الضجة التي حدثت حول المذنب "كوهوتيك Kohoutek " في ١٩٧٣ عندما تنبأ الفلكيون بأنه سيكون أهم أحداث القرن ، لكنه تحول إلى زوبعة في فنجان؛ لذا فإنهم كانوا حذرين في إعلان تنبؤاتهم . كان المذنب كوهوتيك ساطعاً على غير العادة عندما كان بعيداً جدا عن الأرض ، لكنه عندما اقترب لم يكن يُرى إلا بالكاد وباستخدام التلسكوبات الكبيرة، وبالنسبة لمذنب شوميكر – ليڤي ٩ فقد كانت التنبؤات حول اصطدامه بالمشترى تتراوح ما بين عدم رؤية أي شيء وحتى ظهور كرات نارية ضخمة وسحب عملاقة على شكل فطر المشروم ، وأن المشترى سيتوهج كشجرة عيد الميلاد بتأثير غبار المذنب . تشكك بعض العلماء في احتمال مشاهدة أي انفجار أو تأثيرات مصاحبة الصدام إلا باستخدام تلسكوبات قوية متخصصة. لم يكن يتوقع أحد أن يتمكن هواة الفلك في العالم من رؤية التصادمات بسهولة؛ لأن المشترى سيكون على مسافة ٧٧٠ مليون كيلومتر في أسبوع التصادم المتوقع ، عدا ذلك كانت هناك أدلة على أن شظايا المذنب قد بدأت تتحطم، وأن حسابات مدار المذنب قد تكون في النهاية خاطئة .

لذلك اغتبط الفلكيون الهواة و المحترفون اغتباطاً عظيماً عندما شاهدوا ما كانوا يتشوقون لرؤيته من الكرات النارية وسحب الغبار وهي ماثلة أمام أعينهم . كان أحد مؤلفي هذا الكتاب موجوداً في بوسطن في أسبوع الصدام (١٦ يوليو)، وقد تعود الفلكيون الهواة أن ينصبوا تلسكوباتهم مرة في الأسبوع فوق مبنى جراج للسيارات أمام المتحف العلمي في بوسطن ، ويتباهون وهم يسمحون لعامة الناس بإلقاء نظرة على السماء من خلال تلسكوباتهم ، وفي ١٨ يوليو تجمع جمهور هائل مقارنة بالأعداد التي كانت تتواجد عادة في هذه الأمسيات، وحتى يتمكن أحد من النظر في أحد التلسكوبات العديدة كان عليه أن ينتظر في طابور طويل . كانت الغيوم ثقيلة في تلك

الليلة و أضواء المدينة تضبب الرؤية ، لذلك كان من الصعب مشاهدة المشترى على الإطلاق ، لكن درجة الإثارة كانت مرتفعة؛ إذ كان من الممكن رؤية نقاط الصدام بوضوح ، وإذا تمكنت أصلاً من رؤية المشترى فإنك سترى على الأقل إحدى هذه النقاط .

دامت الندوب على سطح المشترى فترة أطول مما كان يتوقع معظم الفلكيين ، وربما تكون سرعة دوران المشترى الكبيرة و الرياح التي تبلغ سرعتها ٣٠٠ ميل في الساعة قد تسببا في تمزيق هذه النقاط و تشتيت محتواها ، غير أنه بعد بضعة أسابيع استقرت بعض الندوب بعد التوائها وتغيرت ملامحها جزئيا ، فمن المعروف أن الحركة الرأسية قليلة في طبقة الستراتوسفير المشترى كما هي في الغلاف الخارجي لكوكبنا (على الأرض تدوم قمم العواصف الرعدية لعدة ساعات وليس شهوراً ، أما الغبار البركاني الذي يتدفع من البراكين النشطة إلى الغلاف الجوى فإنه يسبب إظلام لحظات غروب الشمس لسنوات) و بعد بضعة أشهر من الارتطام تجمعت النقاط على شكل أشرطة طويلة تحلقت حول الكوكب .

وتمكن علماء الفلك الفيزيائيون من حساب الطاقة الناتجة من التصادمات بقياس مساحة البقع، وقد وُجدت مكافئة لآلاف الميجاطن من مادة .T.N.T ، وقد أكدت هذه النتائج حسابات العلماء حول حجم وكتلة شظايا المذنب ، وأن قطر قلب المذنب عدة كيلومترات أو يزيد (وتؤيد هذه المعلومة - كما سنرى - النظرية القائلة بأن صدمات الأجرام السماوية هي المسئولة عن الزوال الشامل للحياة على الأرض بما فيها كل الديناصورات منذ ٦٥ مليون سنة) .

وكما أشار العديد من العلماء و الصحفيين أصبحت الرسالة التي وجهها المذنب شوميكر - ليفي ٩ في غاية الوضوح بعد يوليو ١٩٩٤ ، وإذا كان زائر من أعماق المجموعة الشمسية مثل مذنب أو شهاب قد تسبب في هذا الدمار لكوكب عملاق كالمشترى؛ فإننا على الأرض أكثر عرضة لذلك، وفرصة اقتناص الأرض لمذنب أقل نظراً لجاذبيتها التي تقل كثيراً عن جاذبية المشترى- الذى تبلغ كتلته ٣١٨ مرة أكبر من كتلة الأرض ، لكن الاقتناص لا يعني بالضرورة وقوع الصدام .

ومع أن سرعة وطاقة وعزم المذنبات مؤثرة واصطداماتها تأثير هائل، إلا أنها أصغر كثيراً في حجمها من الكواكب ، فكوكب المشترى الذى يزيد قطره ١١ مرة عن قطر الأرض ويبلغ مداه ١٤٣٠٠٠ كيلومتر أكبر خمسين ألف مرة عن أكبر شظايا المذنب، أما كتلة المشترى فهي أكبر مائة مليون مليون (مائة تريليون أو ١٠ مرفوعة لأس ١٤) مرة من كتلة المذنب ؛ لذلك فإن التخوف من أن يتسبب مذنب في دفع كوكب مثل المشترى (أو حتى كوكب أصغر منه مثل الأرض) للخروج عن مداره أمر ليس له أى أساس .

ومع ذلك فإن الأرض قد ارتطمت بمذنبات وشهب تسببت في إحداث تغيير جذرى في مسار تاريخنا الطبيعي، ويسبح في النظام الشمسي عدة ملايين من المذنبات معظمهم من البعد بحيث لا يمكن رؤيتهم حتى بواسطة أكبر التلسكوبات ، لكن كل واحد منهم يعتبر قاتلاً محتملاً، ويتقاطع مسار آلاف الشهب مع مدار الأرض في الفضاء - أى أنها في مسار تصادم محتمل معنا - وقد تجمعت خلال العقود القليلة المنصرمة من المعلومات ما جعل من المستحيل أن تكون مئات الحفر المخروطية الضخمة التي شوهت سطح القمر والزهرة والكواكب الأخرى قد تشكلت فقط بفعل النشاط البركاني، كما كان يصر بعض الجيولوجيين، وقد تم اكتشاف أكثر من مائة حفرة مخروطية ضخمة حتى الآن على الأرض كانت مختبئة بفعل التعرية أو تحت سطح المحيط. وفي عام ١٩٠٨ تسبب انفجار هائل في تصدع جزء من سيبيريا البعيدة ، كما أدى إلى اقتلاع الأشجار لمسافة عدة أميال وانطلاق طاقة تكافيء ١٠ ميجا طن - أى قنبلة نووية حرارية - والتفسير الوحيد لهذه المصيبة هو ارتطام جرم سماوي بالأرض، والدلائل على ذلك لا تقبل الدحض، فنحن نعيش في ميدان عملاق للرماية نحن فيه الهدف .

وعندما تذهب إلى عملك في الغد، فكر في الآتي : هناك أمور كثيرة تقوم على حمايتك من أخطار الشهب والمذنبات ، لكنك في نفس الوقت معرض أكثر بكثير لأخطار أخرى تواجهها في حياتك اليومية : لذلك فإن هذه الحماية ليست نهائية !

الفصل الثالث

الأرض هى الهدف

كان يومًا عاديا مثل أى يوم آخر من أيام الخمس و الستين مليون سنة الماضية إلا فى أمر غريب واحد: كانت هناك بقعة صغيرة ساطعة في السماء أخذت تكبر وتزداد سطوعًا، وكان قطرها حوالي ستة أميال ، وكانت تتخذ مسار اصطدام مذنب أو شهاب مع الأرض .

وقبل أربع ساعات من لحظة الصدام كان القاتل القادم من الفضاء، على بعد يماثل بعد القمر عن الأرض ، وكان ساطعًا ككوكب الزهرة لحظة الشفق . وقبل الارتطام بعشر دقائق فقط كان هذا القاتل يبعد مسافة تساوى قطر الأرض ، ولا نعلم يقينًا هل لاحظه أحد المخلوقات التى كانت على موعد مع القدر من سطح الأرض أو لا، ولو كان البشر موجودين فى هذه اللحظة لرأوا هيئة هذا الجسم التى كانت غير منتظمة على الأرجح ، ولربما شاهدوه وهو يهوى ، ولو كان هذا الجسم مذنبًا لظهرت رأسه المتوهجة ضخمة لامعة، ولشكل مع ذنبه – متعدد الألوان المخطط المتجه بعيدًا عن الشمس – منظرًا فريدًا .

وقبل الصدمة بعشر ثوانٍ فقط اندفع هذا الغازى متوهجًا ومحاطًا باللهب مخترقًا الطبقات العليا للغلاف الجوى مخلفًا وراءه أثرًا على شكل أسطوانة صفراء أخذت تتمدد وتنتشر بأسرع من الصوت . تبخر جزء من مادة هذا الغازى وتحول جزء آخر إلى غبار، لكن معظم كتلة هذا المذنب أو الشهاب اصطدمت بالمحيط ونفذت إلى قاعه فى أقل من ثانية مفجرة طريقها خلال طمى القاع الذى انسحق تحت وطأة الصدمة .

وانتهى العصر الطباشيري من على الأرض منهيًا بذلك عصر الديناصورات، ووسط عنف لا يمكن تخيله بدأ العصر الثلثي وهو العصر الذي سيسود فيه أسلافنا من الثدييات الأول .

وخلال ثوان قليلة من الصدمة تحررت كمية من الطاقة تكافئ طاقة ملايين القنابل النووية، وكان معظم هذه الطاقة حراريا ، وقفزت درجة الحرارة في مدى مئات الأمتار إلى أكثر من مليون درجة سلزية، وتبخر الطمي والماء ، بل وحتى بعض الصخر قد تبخر ، وانصهر بعضه الآخر، واندفعت صاعدة من البحر كالشبح كرة نارية هائلة في حركة بطيئة لفرط ضخامتها، وفي الحقيقة حملت هذه الكرة معها الخراب والدمار بسرعة تفوق سرعة الصوت .

تسببت موجة الصدمة التي انتشرت بسرعة ٤ كيلومترات في الثانية في إحداث حفرة مخروطية هائلة بلغ اتساعها ٢٠٠ كيلومتر تقريبًا، واندفعت من مركز الصدمة موجات التوابع الزلزالية ، ولم تتمكن الديناصورات والحيوانات الأخرى - حتى الذين شاهدوا هذا التحذير - من أن يفعلوا أي شيء لحماية أنفسهم .

واندفعت قطع المذنب وشظاياه إلى الخارج وإلى أعلى ، ووصلت كتلة الغبار الناتج وحده ١٠٠ تريليون طن: أي ما يكافئ كتلة مليار سفينة كبيرة ، وانطلق عدد لانهائي من القطع إلى الفضاء الخارجي مثل الشهب المتوهجة. بردت هذه القذائف لبعض الوقت ثم التهبت مرة أخرى عندما عادت لتنهمر على سطح الأرض متوهجة . اشتعلت الأدغال والغابات لمسافة آلاف الأميال ، وما صمد من الأشجار الملتهبة وظلت واقفة ، عصفت بها موجة الهواء المنضغط العنيفة وألقتها أرضًا، وعندما تعرضت الأرض لقذائف الشظايا الثانوية العائدة من الفضاء احترقت الغابات والأحراش لمسافات أبعد، وقد تسببت الحرارة الهائلة المصاحبة لعودة شظايا الشهب في شي الحيوانات أحياءً ، وفي المحيطات انبثقت موجات "التسونامي" (موجة هائلة من المياه تنشأ بفعل الزلازل في قاع البحر) العملاقة نتيجة للارتطام، وأخذت تنتشر عبر المحيط بسرعة عدة مئات من الكيلومترات في الساعة ، وعصفت بالشواطئ والتلال جدران شاهقة من المياه على شكل أبراج تجاوز ارتفاعها أعلى مبنى تم بناؤه على الأرض حتى الآن ، فسحقت كل

شيء اعترض طريقها، واندثرت السهول الساحلية التي كانت تمد الحياة البرية بالغذاء لملايين السنين .

وتحملت مئات الكيلومترات المربعة من المحيط حرارة قاسية، بينما تحول البحر قرب القاع إلى مغارة فائقة الحرارة التي أخذت تغلي، وتكوّن إعصار هائل فوق المحيط الساخن جدا، وكان في ضخامته أكبر من أي إعصار عرفه البشر ، وتسبب الاختلاف الكبير في درجة الحرارة بين المياه الدافئة والستراتوسفير البارد جدا في نشأة رياح عاتية بلغت سرعتها أكثر من ٨٠٠ كيلومتر في الساعة، واندفعت تيارات الهواء المحملة ببخار الماء إلى أعلى إلى ارتفاعات تصل إلى ٥٠ كيلومتراً مسببة اضطراب الطبقات العليا للغلاف الجوي ، وكانت العاصفة من الضخامة و الشدة لدرجة أن الرياح في قمتها وصلت إلى سرعات فوق صوتية ، مما جعل العلماء يطلقون عليها اسم "هايبركين" "Hypercane" - أي ما فوق العاصفة - واستمرت هذه العاصفة عدة أيام، في الوقت الذي أخذ فيه سطح المحيط يبرد بالتدريج ، وربما تكون قد انتقلت كميات كبيرة من الماء (عدة أميال مكعبة) إلى الستراتوسفير بحيث تمكنت من التأثير في مناخ العالم .

وأخذت كميات متزايدة من الغبار (أميال مكعبة) تتساقط عائدة من الفضاء إلى الستراتوسفير، وانتشرت لتعم كل أجزاء العالم ، وفي كل مكان تحول النهار إلى ليل حالك السواد ، ولم تظهر الشمس أو القمر لعدة أشهر، كما لم يكن من الممكن رؤية ولو نجم واحد ، وتفاوتت درجات الحرارة في العالم بين السخونة التي لا تطاق وبرودة تحت التجمد

وتوقفت عمليات البناء الضوئي بواسطة بلانكتون[١] المحيط، وهلكت معظم صور الحياة البحرية القائمة على البلانكتون كأساس للسلسلة الغذائية ، وبعد الصدمة بعدة أشهر، وبعد أن استقر الغبار أخيراً، ربما يكون قد تبقى ضباب كثيف من قطيرات حمض الكبريتيك معلقةً في الهواء، و هو الحمض الذي تكون من مليارات الأطنان من

(١) الكائنات الحيوانية والنباتية الدقيقة العالقة والهائمة في الطبقات السطحية للماء.

مركبات الكبريت التى لفظت إلى الهواء، نتيجة لصدمة المذنب (تحتوى كثير من الصخور على نسبة عالية من الكبريت) وقد أطلق المرجل النارى المتفجر الناتج من الصدمة كميات هائلة من ثانى أكسيد الكبريت، ويتفاعل هذا الغاز المزعج مع بلايين الأطنان من الماء المتبخر من الكرة النارية تكونت غمامات من حمض يميل إلى الاصفرار منتشر فى الاستراتوسفير ، وقد ظلت سحب حمض الكبريتيك تحجب ضوء الشمس لعدة عقود من السنين، وتعرضت معظم النباتات الأرضية التى نجت من العاصفة النارية للهلاك من البرد والظلام، ومعها هلك الكثير من الحيوانات، أما من نجا منها فقد تعرض لرعب من نوع آخر هو: "المطر الحمضى".

وقد دمجت الحرارة الهائلة الناتجة من الكرة النارية كميات مهولة من أكسجين ونيتروجين الهواء الجوى فى أكاسيد النيتروجين، ومن المعروف اليوم أن أكاسيد النيتروجين المنبعثة من عوادم السيارات هى أحد الأسباب الرئيسية لتكون الضبخان (مزيج من ضباب ودخان) (Smog) ، وتتفاعل هذه الأكاسيد مع الماء فى الهواء مكونة حمض النيتريك ، وهو الحمض المعروف مع الكبريتيك كأقوى المواد المسببة للتآكل فى الكيمياء .

وبعد صدمة الكويكب تساقط المطر الحمضى فى كل مكان على الأرض بتركيزات أكبر كثيراً من تلك التى تسبب دمار الغابات اليوم ، وربما كان المطر الحمضى كافياً للقضاء على الكثير من الحياة النباتية المتبقية، وارتفعت الحموضة فى مياه المحيط للدرجة التى لم يتمكن معها الكثير من أشكال البلانكتون من الصمود، أما الأشكال التى صمدت فهى تلك التى تقاوم الحموضة المرتفعة .

والحجر الجيرى الذى يتكون أساساً من كربونات الكالسيوم هو أحد أكثر الصخور شيوعاً، وفى أثناء الانفجار العنيف للكويكب أو المذنب تتفكك معظم الكربونات، ويتغلغل ثانى أكسيد الكربون الناتج فى الهواء الجوى مسبباً زيادة كبيرة فى نسبته ، ويعمل كل من ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الهواء الجوى على اقتناص حرارة الشمس فى الظاهرة المسماة "تأثير الصوبة الزجاجية" (Greenhouse effect) . وعندما يستقر الغبار والماء والسحب الحمضية من الغلاف الجوى لا يتبقى سوى بخار

الماء وثانى أكسيد الكربون ، وربما ينقلب مناخ الأرض من البرودة القصوى إلى السخونة القصوى، ولا يعود المناخ إلى حالته الطبيعية إلا بعد أن تتمكن النباتات الخضراء التى نجت من استعادة حالة الاتزان المطلوبة (يستهلك البناء الضوئى ثانى أكسيد الكربون) ، وربما تكون هذه العملية قد استغرقت آلاف السنين .

واضطرب الغلاف الجوى للأرض بشدة لدرجة أن معظم طبقة الأوزون قد تحطمت ، وعادة يقوم أوزون الغلاف الجوى بدور حيوى فى حجب الأشعة فوق البنفسجية (UV) ، ولكن محبى ضوء الشمس أصبحوا الآن يدركون أن النسبة الضئيلة من أشعة (UV) التى تخترق طبقة الأوزون قد تتسبب فى سرطان الجلد وإتلاف العيون ، وفى غيبة أوزون الغلاف الجوى الواقى يصبح كثير من الأنواع معرضاً للفناء .

وليست الصورة المخيفة للكارثة العتيقة مجرد تخمينات، لكنها مدعمة بالسجل الصخرى منذ ٦٥مليون سنة ، وفى واحدة من أكبر أحداث الفناء الشامل فى عصور ما قبل التاريخ تم القضاء على حوالى ثلثى أنواع الحيوانات و النباتات، ولم ينجُ من هذه الكارثة أى حيوان أرضى على الإطلاق يزيد وزنه عن وزن كلب متوسط الحجم ، واختفت جميع أنواع الديناصورات قاطبة عدا الطيور التى يعتقد بعض العلماء أنها انحدرت من الديناصورات ، كذلك مات الكثير من أنواع الثدييات الموجودة عندئذ. كان القتل أشمل فى المحيط، حيث توجد معظم أشكال الحياة الميكروسكوبية ، ووجد علماء الحياة القديمة دلائل على التذبذب السريع للمناخ الذى قد تحدثه صدمة عظمى

ما هى درجة تأكدنا من أن الارتطام بهذا المذنب أو الشهاب قد حدث فعلاً ؟ وهل اصطدمت بالأرض فعلاً أجرام سماوية من الكبر بحيث تسبب زوالاً شاملاً ؟

وقد تعرف عدد قليل فقط من العلماء على مخاطر الارتطام بالشهب ، وذلك فى وقت سابق على غيرهم ، ففى عام ١٩٤١ تمكن العالم فليتشر واطسون (Fletcher Watson) من تقدير معدلات تصادم هذه الشهب معتمداً على اكتشاف أول شهاب يقترب من الأرض ، كما حذر العالم رالف بولدوين (Ralph Baldwin) – فى كتابه الصادر عام ١٩٤٩ "وجه القمر" – من أن الانفجار الذى سبب الحفرة المخروطية "تايكو" لو حدث على أى مكان من سطح الأرض لكان شيئاً مرعباً يفوق فى فظاعته أى زلزال.

في خلال السبعينيات اقترح عالم الحياة القديمة الكندي المعروف ديجي ماكلارين (Digby Mclarin) أن نيزكًا عملاقًا قد تسبب في زوال شامل منذ ٣٦٥ مليون سنة مضت، ونشر خبير المذنبات الأيرلندي أوبك (E.J.Opic) في فترة سابقة ما يفيد أن المذنبات يمكن أن تقضي على الحياة في مناطق شاسعة مع احتمال أن تتسبب في فناء أنواع من الكائنات ، وفي عام ١٩٧٣ نشر عالم الكيمياء هارولد يوري (Harold Urey) - الحائز على جائزة نوبل - بحثًا يرى فيه أن ارتطام المذنبات أحدث آثارًا أقل خلال ال٥٠ مليون سنة الماضية، وافترض أن أحد المذنبات كان مسئولاً عن انقراض الديناصورات، وقال بأن التكتيتات[1] من نهاية العصر الطباشيري هي في آخر الأمر ليست من مصدر أرضي. وعلى الرغم من مكانة هؤلاء العلماء فإن أحداً لم يُعر تحذيراتهم أو اقتراحاتهم الاهتمام الكافي . إن ما ينقص هذه التحذيرات والاقتراحات شيء علمي أساسي هو الدليل . إن بعض الاكتشافات العلمية الكبرى تتم بطريق الصدفة مثل اكتشاف البنسلين بواسطة السير ألكسندر فليمنج، ويتم البعض الآخر نتيجة البحث الدءوب باستخدام التقنية التقليدية مثل اكتشاف المذنب شوميكر - ليفي ٩ ، و تجيء بعض الاكتشافات الأخرى كمكافأة لبُناة الأجهزة العلمية الأحدث أو الأكبر أو الأكثر حساسية مثل تلسكوب هابل الفضائي . لكن هناك اكتشافات صعبة أخرى لا تحدث إلا نتيجة معارك طويلة لحل الألغاز ، وهي تتطلب شيئًا من الحظ وكثيراً من المهارات الفائقة. كان ذلك هو الحال مع اكتشاف أن شيئًا فضائيا هائلاً قد اصطدم بالأرض متزامناً تقريباً مع انقراض الديناصورات .

يرتبط لويس ووالتر ألفاريز (Luis and Walter Alvarez) أكثر من غيرهم من العلماء بهذا الاكتشاف ، ففي عام ١٩٧٧كان الجيولوجي والتر ألفاريز في زيارة لبركلي بكاليفورنيا لمدة عام، وهو من مرصد لامونت دورتي الجيولوجي بجامعة كولومبيا ، وكان يفكر في العمل كأستاذ مساعد بجامعة كاليفورنيا بأجر أقل ، ولم يكن من السهل اتخاذ مثل هذا القرار، لكن مما شجعه على هذه الخطوة وجود والده لويس الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء سنة ١٩٦٨ في بركلي . لم يكن والتر قد عمل قط مع والده الشهير، لكن فكرة العمل معه كانت مغرية .

(١) أجسام زجاجية على الأرجح من أصل نيزكي .

كان لويس ألفاريز يعطي انطباعًا رائعًا كنجم متألق في الفيزياء ، وبالرغم من ذلك فإن طلاب الدراسات العليا والباحثين كانوا ينادونه باسمه المجرد "لوى". كان مؤلفا هذا الكتاب من اتباع لوى، وتأثرا بشدة من الاقتراب منه. حصل لويس ألفاريز على جائزة نوبل لاكتشاف مجموعته العلمية الجسيمات الأولية بواسطة غرفة الفقاعات ، الأمر الذي أدى إلى نشوء النموذج القياسي للمادة تحت الذرية المتداول الآن ، وقد قام باكتشافات مهمة كثيرة أخرى ، فاكتشف ظاهرة الإشعاع الأساسية الخاصة باقتناص الإلكترون ، كما اكتشف الخاصية الإشعاعية لعنصر التريتيوم أكثر نظائر الهيدروجين ندرة، واكتشف كذلك خواص النيوترون المغناطيسية ، وأثبت أن معظم الأشعة الكونية عبارة عن بروتونات .

كان "لوى" بالإضافة لذلك مخترعًا متميزًا، وقد تم اختياره عضواً في قاعة أشهر المخترعين ، فقد اخترع مفجر القنبلة الذرية، وأول طريقة للهبوط الآلي للطائرات ، واستخدم الأشعة الكونية لدراسة الأهرامات في مصر، ولتحليل شريط التصوير "زابرودر" الخاص باغتيال الرئيس كنيدي باستفاضة ، الأمر الذي حدا بمحطة CBS التليفزيونية الأمريكية الشهيرة أن تخصص عدة حلقات تتعلق باستنتاجاته في هذا الخصوص .

قرر والتر ألفاريز أخيراً أن يقبل العمل في بركلي ، وعندما وصل إلى هناك أحضر معه هدية علمية لأبيه ، كان محتوى الهدية كما كان يعتقد والتر حل لغز انقراض الديناصورات ، وهو عبارة عن قطاع صغير من صخر رسوبي اقتطعه والتر من نتوء صخري بالقرب من "جوبيو" بإيطاليا. غلف والتر هذا القطاع الصخري بالبلاستيك حتى لا يتفتت. اقترح والتر على "لوى" أن يلقي نظرة بعدسة مكبرة على مجموعة مختلفة من الحفريات الصغيرة المسماة "فورام" (Foram) ، الموجودة في الطبقة السفلية من الحجر الجيري ذات اللون الفاتح ، وفوق هذه الطبقة كانت هناك طبقة أخرى داكنة من الطفلة يعلوها طبقة علوية من الحجر الجيري . لم تكن هذه الطبقة من الحجر الجيري تحتوي على حفريات من فورام بالمرة ، وتكونت كل طبقة من هذه

الطبقات من جسيمات دقيقة ترسبت من المحيط . كان من الواضح أن كارثة مجهولة قد عصفت بكل أنواع الفورام في الفترة الزمنية ما بين ترسيب الطبقة السفلية والعلوية من الحجر الجيري ، وأثار والتر فكرة أن ذلك هو ما حدث للديناصورات .

كان تسق الطبقات الذي عرضه والتر على أبيه موجوداً في الترسيبات في كل مكان في العالم ، وكانت حفريات الديناصورات بعظامها الكبيرة تظهر بكثرة في الطبقة الموجودة أسفل الطفلة الداكنة الرقيقة ، أما فوق هذه الطبقة فلا وجود لهذه الحفريات بالمرة ، ولا توجد هياكل كاملة للديناصورات، لكن تشكيلة من عظام تلك الحفريات قد انجرفت لتوجد في الطبقة الأحدث نتيجة الحراك الأرضي ، وأيا ما كان السبب في اختفاء حفريات الفورام؛ فإن ذلك كان هو نفس السبب الذي أفنى الديناصورات .

كان "لوى" قد سمع بهذه المعضلة الكبرى في علمي الجيولوجيا والحياة القديمة ، لكنه بوجود هذا الدليل بين يديه أصبح مأخوذاً . كان يتساءل مستغرباً : ما الذي صنع هذه الطبقة من الطفلة ؟ وهل ترسبت في سنة ،أو في مئات السنين ،أو مئات الآلاف من السنين ؟ وقبل أن يهتم "لوى" بمشكلة اختفاء الديناصورات بسنوات عديدة، قام أحد مؤلفي هذا الكتاب - ريتشارد مولر- بالاشتراك مع والتر في محاولة حل المشكلة بتحديد عدد ذرة البريليوم - ١٠ المشع في الطفلة، وعنصر البريليوم - ١٠ هو نظير للبريليوم يحتوى على ما مجموعه ١٠ بروتونات ونيوترونات، ويتكون عندما تشطر الأشعة الكونية ذرات الأكسجين أو النيتروجين في الغلاف الجوى ، وحيث إن الأشعة الكونية تهطل على الأرض بمعدل ثابت؛ فإن كمية البريليوم - ١٠ في الطفلة تستطيع أن تدلنا على عدد السنوات التي استغرقها تكوين طبقة الطفلة .

ولسوء الحظ لم تحقق طريقة البريليوم - ١٠ ما كان يرجى منها، حيث كان نصف عمر هذا النظير أقصر من اللازم ، حتى إنه من الصعب أن تجد أيا منه في طبقة الطفلة التي عمرها ٦٥ مليون سنة ، لكن هذا الفشل جعل "لوى" يفكر هل هناك أى شيء آخر قادم من الفضاء انتهى به المطاف في الطفلة؟ وماذا عن النيازك الميكروسكوبية ؟ - هذه الحبيبات الدقيقة من الغبار التي تتبقى من الفيض المستمر للنيازك الصغيرة التي تتبخر بهدوء عندما تقتحم الغلاف الجوى للأرض ، وتستقر هذه

النيازك الميكروسكوبية باستمرار على الأرض ، فإذا أمكن إحصاء أعدادها في طبقة الطفلة الغامضة ، لكان في ذلك مفتاح اللغز، ولكن كيف يمكن إحصاؤها ؟ فالكثير منها من الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها حتى بالميكروسكوب .

وبينما كان "لوى" يبحث عن حل باستخدام الفيزياء النووية - تخصصه - للتمكن من إحصاء عدد النيازك الميكروسكوبية ، فقد تحقق من أمر مهم : إن عناصر البلاتين والذهب وبعض العناصر الثقيلة الأخرى توجد في النيازك بنسبة تفوق نسبتها في القشرة الأرضية عشرة آلاف مرة، فعندما كانت الأرض ساخنة تمكنت الجاذبية من شد الصخور المصهورة ومعها الذهب والبلاتين وسبائك العناصر القريبة منها مع الحديد إلى لب الأرض ، حيث ظلت بعيداً عن متناول أكثر المغامرين جرأة وتهوراً، واستطاع "لوى" أن يثبت أن معظم عناصر مجموعة البلاتين في الصخور الرسوبية والطفلة قد جاءت في الحقيقة من النيازك ، ومع ذلك فلا يوجد من هذه العناصر إلا أجزاء قليلة في البليون . كيف له أن يجد و يحصى كمية بهذه الضآلة ؟

بعد أن درس "لوى" و استبعد العديد من التقنيات توقف اهتمامه عند طريقة تعيين عنصر الإيريديوم النادر في الطفلة مستخدمًا تقنية يطلق عليها "التحليل بالنيوترونات المنشطة"، وقليل من الناس من سمع بعنصر الإيريديوم ، لكنه يستخدم بواسطة الصياغ لإضفاء صلابة عالية للبلاتين ، و في بعض الأحيان يستعمل في رءوس أقلام الحبر الجاف لإطالة عمرها، وهو يكوّن مع الأوزميوم أثقل السبائك المعروفة (أثقل من الماء ٥ , ٢٢ مرة أو ضعف كثافة الرصاص تقريباً).

بعد عدة أشهر توصل "لوى" -خطأ كما اتضح فيما بعد - إلى أن الإيريديوم قد جاء من انفجار مستعر أعظم ، وصلت حياته إلى نهايتها . تتسبب الموجة الحرارية الهائلة المصاحبة لانفجار المستعر الأعظم في توليد درجة حرارة تصل إلى أكثر من مائة مليون درجة ، وتحت هذه الظروف القاسية التي لا نظير لها في الكون الحالي تخلقت عناصر ثقيلة مثل الرصاص والذهب والإيريديوم التي اندفعت منتشرة في الفضاء ، والمستعرات العظمى نادرة الوجود، فمعدل انفجار مستعر أعظم هو واحد

لكل مجرة فى كل ٥٠ سنة ، ولكن خلال عمر مجرتنا – درب اللبانة –المديد يحتمل أن تتمكن بعض مواد العناصر الثقيلة من الانتشار فى كل حجم المجرة .

لم تكن فكرة انقراض الديناصورات بفعل انفجار مستعر أعظم بجديدة، فلقد اقترحها قبل ذلك بعدة سنوات عالم الفيزياء مال رودمان (Mal Raderman) ولو حدثت ثورة لمستعر أعظم على مسافة قريبة بما فيه الكفاية من الأرض ، لعصفت الموجة الحرارية بالغلاف الجوى وقذفته بعيداً ، ولقتلت صور الحياة لحظياً بسبب درجة الحرارة فائقة الارتفاع ، وإذا لم يكن المستعر الأعظم قريباً لهذه الدرجة ، فإن طاقة الإشعاع المتولدة منه قد تقضى على معظم الأنواع الحية .

أدرك "لوى" أن المستعر الأعظم يمكن أن يولد أيضاً البلوتونيوم – العنصر المشع الذى يستخدم فى صناعة الأسلحة النووية – ويمكن القول إن البلوتونيوم غير موجود تماماً فى القشرة الأرضية ، ومعظم مصادره تأتى من التحلل الإشعاعى لليورانيوم فى المفاعلات النووية، ومع أن البلوتونيوم يتحلل إشعاعيا، إلا أن "لوى" كان يعلم أنه لو قذف مستعر أعظم بكمية منه فى الغلاف الجوى للأرض منذ ٦٥ مليون سنة لتبقى بعض منه حتى الآن ، والسؤال الآن هو : هل تحتوى طبقة الطفلة التى عمرها ٦٥ مليون سنة على البلوتونيوم مثل الإيريديوم ؟ قام كل من فرانك ازاروس (Frank Asaro) وهيلين ميتشيل (Helen Michel) بأعمال خارقة فى مجال الكيمياء الإشعاعية للإجابة على هذا السؤال . كانت الإجابة بالنفى ، وعليه فإن فرضية المستعر الأعظم أصبحت غير مجدية .

لكن "لوى" كان ما زال يشعر بأن الإيريديوم قد جاء من الفضاء ، وكان مُصراً على اكتشاف هذا المصدر. أخبر عالم الفلك النظرى كريس ماكاى (Chris Mckee) "لوى" أن اصطدام شهاب بالمحيط يمكن أن يسبب تكوين تسونامى أو موجة عملاقة، قد تكون السبب فى القضاء على الديناصورات ، ولكن كيف يمكن لمثل هذه الموجات أن تطول أواسط القارات حيث ارتفاع الأرض آلاف الأقدام فوق مستوى سطح البحر ؟ وكيف يمكن لموجة مهما كانت عاتية أن تقضى على المخلوقات البحرية فى جميع أنحاء العالم ؟

وقد كتب فريد هويل رواية من نوع الخيال العلمى موضوعها سحابة من الغبار تحجب ضوء الشمس وتتسبب فى درجات حرارة تصل للتجمد حتى فى المناطق

الاستوائية من الأرض . درس "لوى" احتمال أن شهاباً غنيا بالإيريديوم قد ارتطم بالأرض محدثًا حفرة مخروطية هائلة و دافعاً لأعلى كميات كبيرة من الغبار، وقد تحمل الرياح فى الطبقات العليا الإيريديوم إلى جميع أرجاء العالم ليتساقط عائداً بعد ذلك ويدخل فى تكوين الطبقات الرسوبية واسعة الانتشار .

يبلغ عمر الحفرة المخروطية فى أريزونا التى أحدثها أحد النيازك ما بين ٢٥٠٠٠و٥٠٠٠٠ سنة و قطرها ١,٢ كيلومتر (أقل من الميل قليلاً) وعمقها ٢٠٠ متر، وقد نسفت هذه الحفرة بواسطة قذيفة حديدية (تم العثور على بقاياها) قطرها ٥٠ متراً وسرعة ارتطامها حوالى ١١ كيلومتراً فى الثانية ، أى ٢٥ ألف ميل فى الساعة ، ويوجد على الأرض حفر أكبر من هذه الحفرة بكثير معروف منها مائة تقريباً، لكنها قد تعطلت جزئيا أو كليا بفعل التعرية أو الأنشطة الجيولوجية الأخرى، وفى جنوب ألمانيا يوجد الحفرة المخروطية رايز (Ries) وعرضها ٢٥ كيلومتراً ، وقد نشأت من ارتطام شهاب منذ ما يقرب من ١٥ مليون سنة، كما أن حلقة مانيكوجان فى ولاية كيوبك وهى بحيرة الآن – تُحَدِّد حفرة ناتجة عن صدمة حدثت منذ ٢١٠ ملايين سنة، ويبلغ اتساع هذه الحفرة ١٠٠ كيلومتر، ولم يلاحظ هذه الحفرة أحد إلا بعد بناء السد الذى تكونت بسببه البحيرة، وتبلغ حفرة بابوجاى فى سيبريا نفس حجم الحفرة السابقة لكن عمرها ٣٧ مليون سنة ، وتوجد بالقرب من نوفا سكوتيا حفرة مغمورة اتساعها ٤٥ كيلومتراً وعمرها ٥٠ مليون سنة ، أما التى فى أيوا (تركيب مانسون المدفون) فقطرها ٣٥ كيلومتراً، ويبلغ قطر البنية الناتجة عن تصادم فيدفورد فى جنوب أفريقيا ١٤٠ كيلومتراً ، وتقع أكبر الحفر التى عرفت حتى الآن على سطح الأرض بالقرب من شبه جزيرة يوكاتان فى المكسيك وهى شبه مغمورة قطرها يزيد على ١٧٠ كيلومتراً ، وتاريخها مُحدد بدقة على أنه ٦٥ مليون سنة ، ولم تكن هذه الحفرة معروفة لـ "لوى" أو العلماء الآخرين فى ذلك الوقت .

لا يمكن ملاحظة الفوهات الكبيرة على سطح الأرض سواء من الطائرة أو من الفضاء الخارجى – عدا القليل من الاستثناءات : وذلك بسبب تأثير عمليات بناء الجبال والتعرية . وكان على العلماء اكتشافها بدراسة التغيرات المحلية فى خواص الجاذبية أو المغناطيسية أو التغيرات غير العادية الجيولوجية الأخرى ، وتوجد الفوهات بمعدل

أكبر على الكواكب الأخرى والأقمار فى المجموعة الشمسية أكثر منها على الأرض ، وهى أسهل فى رؤيتها كثيراً. ويحفل سطح القمر الوعر بعدد يناهز ٣٠٠٠٠ فوهة من جميع الأحجام ، وتتخذ أشكال هذه الفوهات الصغيرة والمتوسطة بحوافها المرتفعة ونقطة المركز المنخفضة - كنماذج توضيحية فى مراجع الفيزياء الخاصة بالصدمات ، وتوجد صعوبة أكبر فى تفسير الفوهات الأكبر من ذلك؛ فأربعون من هذه الفوهات القمرية يزيد قطرها على ٣٠٠ كيلومتر ، وحوافها على شكل مجموعة معقدة من الحلقات. ويزيد قطر أحد هذه الفوهات - وهو حوض بروسيلاريوم - على ٣٠٠٠ كيلومتر. ولا يشك العلماء كثيرا فى أن هذه الندوب القمرية تُحدِّد مواقع التصادمات العتيقة مع الشهب والمذنبات .

كذلك أوضحت صور "رادار ستارك" المأخوذة لسطح الزهرة بواسطة سفينة الفضاء "ماجيلان" - التى تدور حول هذا الكوكب - العديد من الحفر الناتجة عن الصدمات . وقد استطاعت الدراسة المستفيضة لهذه الصور المميزة أن توضح الاتجاه الذى جاءت منه الشهب والمذنبات ، ويبلغ قطر أكبر هذه الفوهات - و اسمه "ميد" Mead - ٢٨٠ كيلومتراً، أى أنه أكبر من أى حفرة معروفة على الأرض ، ويعزى البعض اتجاه الدوران المعاكس الغريب لكوكب الزهرة إلى صدمة فائقة طُمِست آثارها بصدمات الشهب التى جاءت بعد ذلك .

وقد بينت البعثات الفضائية إلى كل من المريخ وعطارد أن الحفر التى تملأ سطحيهما والمحاطة بأحواض متعددة الحلقات لا يمكن تفسيرها إلا على أساس الارتطام . وقد أوضحت الصور المدهشة لأقمار المشترى وزحل ، "التى التقطتها سفينتا الفضاء بيونير وفوياجر ، وكذلك الصور الرائعة التى تحبس الأنفاس للشهاب إيدا وجاسبرا - وجود حفر بكثافة عالية .

عند اقتراب لويس ألفاريز من فك غموض الإيريديوم ، قرأ مقالات عن الشهب التى تتقاطع مساراتها مع مدار الأرض والتى تسمى "أجسام أبول لو". وقد أدرك فى الحال أن أكبر هذه الأجسام يحتمل أن يكون قد ارتطم بكوكبنا خلال فترة المائة مليون عام الماضية ، ويبلغ قطره حوالى ٥ (وقد يصل إلى ١٠) كيلو مترات . وقد وجد كذلك أنه

من المحتمل قليلاً أن يقوم مذنب لرأسه مثل هذا القطر بالارتطام بالأرض مرة كل مائة مليون سنة . أما الأكثر احتمالاً فهى الصدمات مع الأجسام الأصغر ؛ حيث إن عدد الشهب الصغيرة أكبر كثيراً من الشهب الكبيرة .

وازداد "لوى" تحمساً تجاه فرضية الشهاب ؛ ولذلك بدأ فى حسابات التأثيرات التى يمكن للصدمة أن تحدثها على الأرض (ويغرم الفيزيائيون بتسمية هذا النوع من الحسابات البسيطة الذى استخدمه "لوى" باسم حسابات خلفية المظروف ، فعندما يتناول الفيزيائيون طعامهم فى مطعم يقومون بالكتابة على ظهر علبة الثقاب أو المناديل الورقية) .

قد أوضح "لوى" أن السرعة النسبية لشهاب عند ارتطامه بالأرض قد تصل بسهولة إلى ٣٠ كيلومتراً فى الثانية، وهى نفس سرعة كوكبنا حول الشمس ، أو هى أكبر ٣٠ مرة من سرعة طلقة من بندقية سريعة الطلقات ، وقد استبعدت السرعات الأكبر من ذلك بالنسبة للشهب (وليس للمذنبات) ؛ لأن كل الشهب تدور حول الشمس فى نفس اتجاه دوران الأرض ، فهل من المحتمل أن يتسبب ارتطام مثل هذا فى إزاحة الأرض عن مدارها ؟ وتعتمد الإجابة على عزم الشهاب أو كتلته مضروبة فى سرعته ؛ ولأن الشهاب وللأرض نفس السرعة ، فإن الأمر يتعلق أساساً بالكتلة . كم مرة تزيد كتلة الأرض عن الشهاب ؟ يبلغ قطر الأرض حوالى ١٢٨٠٠ كيلومتر ، وهو أكبر ٢٠٠٠ مرة من شهاب قطره ٥ كيلومترات ، فإذا افترضنا أن الجسمين (الأرض و الشهاب) لهما نفس الكثافة - وهو أمر معقول لأن كليهما يتكون من الصخور - فإن الكتلة النسبية ستصبح مكعب القطر، أى ٢٠٠٠ × ٢٠٠٠ × ٢٠٠٠ ؛ لذلك فإن عزم الشهاب حوالى ١ من ١٠ مليارات من عزم الأرض ، وارتطام هذا الشهاب بالأرض سيغير من مدارها بأقل من ١ من ١٠ مليارات من ٩٣ مليون ميل هى المسافة بين الأرض والشمس ، أو ما قيمته ٥٠ قدماً ، فلا تقلق ، لأن هذه الإزاحة ليس لها تأثير فعال .

يعلم كل طالب يدرس الفيزياء فى المدرسة وكل من يهتم بالسلاح أن العزم ليس إلا جزءاً من قصة الصدام ، فالجسم الذى يتحرك يحمل كذلك طاقة حركة ، وللجسم الذى يتحرك بسرعة تصل إلى ٣٠ ضعف سرعة طلقة البندقية - طاقة كافية لتسبب

متاعب جمة عند الصدام . وتتناسب طاقة الحركة طرديا مع مربع السرعة ، و يعنى ذلك أن طاقة كل جرام من شهاب يتحرك بسرعة ٣٠ كيلو متراً فى الثانية أكبر ٩٠٠ مرة من طاقة كل جرام من طلقة سريعة ، ويروح الحسابات التى سميناها حسابات ظهر المظروف (حسابات تقريبية للسهولة) سنجعل هذا الرقم ١٠٠٠ ، وتأتى كل هذه الطاقة من الانفجار وهى حوالى ١٠٪ من كتلة الطلقة ، ولمقارنة طاقة شهاب بطاقة المتفجرات (مثل البارود أو مادة TNT) فإنها تساوى ١٠٪ من ١٠٠٠ أو تساوى ١٠٠ ، لذا فإن كل طن من الشهاب يحمل طاقة ١٠٠ طن من TNT، وتبلغ كتلة شهاب قطره ٥ كيلومترات حوالى مليون ميجا طن أو ١٠ مرفوعة للأس ١٥ كيلو جراماً ؛ ولذلك فإن اصطدامه بالأرض سيطلق طاقة تعادل ١٠٠ مليون ميجا طن من TNT، أى أكبر مائة ألف مرة من طاقة انفجار كل ترسانة الأسلحة النووية فى كل الدول الموجودة على الأرض .

كان "لوى" يعلم أنه لم يحدث فى التاريخ أن انهالت مثل هذه الكمية من الطاقة فى مكان واحد على سطح الأرض، فتساءل ما هو التأثير المحتمل لذلك ؟ ومن أجل ذلك قام "لوى" بالاطلاع على الدراسات المنشورة عن تقدير قيم الطاقة اللازمة لإحداث الحفر المخروطية الناتجة عن الصدمات على سطح القمر . درس "لوى" أكبر التفجيرات النووية فى برنامج الولايات المتحدة وعلاقة ذلك بحجم الحفر الهائل ، وكانت استنتاجاته مذهلة ، بل فى تصور البعض أنها مرعبة، فشهاب قطره ٥ كيلومترات قد يتسبب فى إحداث حفرة يقارب قطرها ١٠٠ ميل ، وينتج عن ذلك درجة حرارة تفوق المليون درجة ، مما يسبب تبخر كمية من الصخور المحيطة وصهر كمية أكبر ، وسيقذف إلى الغلاف الجوى بكميات من المواد تكفى لحجب ضوء الشمس. هذا هو التفسير الذى استقرت عليه قناعة "لوى" ، وتسبب الإظلام الناتج عن هذه الصدمات فى فناء النباتات والقضاء على الحياة الحيوانية فيما بعد بما فى ذلك الديناصورات .

كان "لوى" على دراية بما سببه الغبار فى الغلاف الجوى من إظلام للسماء ، وذلك من دراسة الانفجار المروع لبركان "كاراكاتوا" فى جنوب الباسفيك سنة ١٩٨٣ . قذف هذا البركان بالغبار و الصخور فى الهواء لارتفاعات تزيد على ٣٠ ميلاً . انتشر الغبار فى جميع أنحاء العالم وسبَّب احمراراً رائعًا للحظات غروب الشمس لمسافة آلاف الأميال ولعدة سنوات. استغرق استقرار معظم الغبار على سطح الأرض عدة أشهر ،

وانخفضت درجة حرارة العالم على الأقل بمقدار نصف درجة سلزية ، وفى سنة ١٩٩١ سببت ثورة بركان "بيناتوبو" بالفليبين فى احمرار لحظات غروب الشمس على الساحل الباسيفيكى لأكثر من عام ، وانخفاض طفيف فى درجات الحرارة فى جميع أنحاء العالم .

وقبل أن يصبح "لوى" على قناعة تامة بنظرية الصدمة ، كان عليه أن يتأكد من كمية الإيريديوم المترسب ، وافترض أن نسبة الإيريديوم الموجودة فى الشهاب تماثل تلك الموجودة فى النيازك ، وهى حوالى نصف جزء فى المليون. قام "لوى" بحساب الكمية الكلية للإيريديوم وكم سيتبقى منه فى طبقة الطفلة إذا فُرض و انتشر جزء مناسب من كتلة الشهاب حول العالم ، تصور "لوى" أن ٤/٥ الشهاب قد استقر فى موقع الصدمة، أما الباقى فقد اندفع إلى الفضاء لينهمر كالمطر على الأرض بعد ذلك . جاءت حسابات الإيريديوم مطابقة لتصور "لوى" ، فقد انتشر ٥٠ ألف طن من الإيريديوم حول العالم ، والأكثر من ذلك كان "لوى" قادراً على حساب كمية الطفلة الكلية نفسها وليس الإريديوم فقط ، وهى الكمية التى جاء جزء منها من شظايا الشهاب ، ومعظمها جاء من الصخور التى اندفعت من حفرة الصدمة .

وكلما تحقق "لوى" و والتر من نظرية الصدمة ؛ ازدادت قناعتهما بها. جاءت النظرية بالعديد من التنبؤات التى لم يكن من الممكن اختبارها عندئذ ، لكنها سمحت لمجموعة بركلى أو الآخرين أن يتحققوا منها أو يرفضوها فيما بعد (وفى العلوم تعتبر النظرية التى لا تصدق عند تعرضها للاختبار عديمة الجدوى، أما النظرية التى تضع تنبؤات يمكن التحقق منها فهى رائعة) كان لا بد لطبقة الطفلة التى عمرها ٦٥ مليون سنة أن تكون غنية بالإيريديوم فى كل مكان حول العالم ، كما لا بد أن يكون التركيب الكيميائى للطفلة واحداً فى كل مكان ، وإذا حدث زوال الكتلة بسبب الشهب، فإنه لابد أن يكون هناك دليل على الارتطام ، وفى مكان ما من العالم لا بد أن توجد حفرة عمرها ٦٥ مليون سنة وقطرها ١٠٠ ميل .

وخلال بضع سنوات تم التحقق من كل هذه التنبؤات ، وعندما نُشر البحث الخاص باكتشاف الايريديوم وعنوانه "السبب الفضائى الخارجى لزوال الكتلة على

حدود العصرين الطباشيرى و الثلثي"– صفق زملاء "لوى" من الفيزيائين و تعاطف معه الجيولوجيون والفلكيون ، لكن علماء الحياة القديمة – الذين كان عملهم الرسمى أن يفسروا أشياء مثل انقراض الديناصورات – كانوا يعتقدون أن اكتشاف ألفاريز يصلح لأى شىء إلا أن تكون نظرية. كانت فكرة الشهاب القاتل من الفضاء الخارجي تجعل من نظرية "لوى" شيئًا مشهوراً وغير مسئول عند هؤلاء العلماء ، ولو لم يكن صاحب النظرية حائزاً على جائزة نوبل لتجاهلوها تماماً، لكن بدلاً عن ذلك احتدمت واحدة من أشد المجادلات عنفاً وأكثرها إثارة فى تاريخ العلم .

الفصل الرابع

المجادلة

أرسل أحد علماء الحياة القديمة المشهورين خطاباً لجريدة " نيويورك تايمز" عن نظرية الارتطام لألفاريز قال فيه : "إنها نظرية مهووسة لمدعى العلم الذى تصوّر نفسه عالمًا للحياة القديمة " ، وكان طلاب الدراسات العليا فى قسم الحياة القديمة يردّدون نكتة مفضلة عن ألفاريز تقول : "إن ألفاريز أصبح ملوثًا بالإيريديوم لدرجة أنه يتوهج فى الظلام". لكن النكتة الحقيقية أن هؤلاء الطلاب لا يعلمون أن عنصر الإيريديوم غير مشع. لكن لماذا كل هذه الإهانات ؟ وهل هذه طريقة للحديث عن رجل يعدُّ أعظم عالم فيزياء تجريبى متميز على قيد الحياة فى العالم ؟

فى سنة ١٩٨٠ كان معظم علماء الحياة القديمة يعتقدون أن الزوال الشامل حدث نتيجة تغيرات المناخ التدريجية ، وتبعًا لهذا السيناريو المفضل عندهم فإن اختفاء الديناصورات جاء مع انحسار البحر الداخلى الضحل الذى كان يغطى معظم أراضى الولايات المتحدة ، مما سبب تغيرات جذرية فى المناخ . كانت معتقدات علماء الحياة القديمة التى ترقى إلى التعاليم المقدسة هى أن زوال الكتلة ليس له سبب واحد بسيط فقط . وأكثر من ذلك فإن معظم محاولات من هم من خارج التخصص (ليسوا من علماء الحياة القديمة) لتفسير اختفاء الديناصورات كانت ببساطة ضرباً من الجنون .

والسبب الذى من أجله أثار مفهوم الكارثة الفجائية ثورة وغضب علماء الحياة القديمة ، أن هذا المفهوم قد هز الفلسفة السائدة عند علماء الأرض و المحفورة داخل عقل كل طالب مبتدئ يدرس الجيولوجيا من أساسها وهى الفلسفة الانتظامية (Uniformitarianism) . وتبعاً لوجهة النظر تلك ، فإن التغيرات المهمة فى تاريخ كوكبنا تحدث ببطء باستثناء حدوث ثورة البراكين .

كانت فكرة التدرجية خروجًا جزئيا على النصوص المقدسة فى الإنجيل ، وفى النهاية لم يمض سوى ١٥٠ سنة منذ تحرر الجيولوجيون من القصة الإنجيلية عن خلق العالم فى ستة أيام ، وأنه خلق منذ ٦ آلاف سنة فقط ، ويحفل الإنجيل بالكثير من الأهوال مثل طوفان نوح الذى هدد بالزوال الشامل ، ولم تنج أنواع الحيوانات إلا ببناء نوح لسفينته .

وقد استغرق الأمر من الجيولوجيين و علماء الحياة القديمة عدة عقود ، بل عدة قرون ، فى دراسة تتسم بالصبر والبحث والتمحيص والمناقشات العنيفة ليرسخ مفهوم أن التطور البيولوجى والجيولوجى قد امتد بلايين السنين ، وأن معظمه يمكن تفسيره بسهولة ، ولم يتمكن الجيولوجيون إلا فى سنة ١٩٥٠ فقط من استخدام طريقة النظائر المشعة لتحديد عمر الأرض الذى ثبت أنه أربعة ونصف مليار من السنين ، وفى ١٨٣٥ هاجم "تشارلز ليل" (Charles Lyell) مؤسس علم الجيولوجيا الحديث والمدافع عن فكرة التدرجية - نصوص "الفناء المفاجئ للأنواع كاملة من النباتات والحيوانات" كما هى موجودة فى "المفترضات الروحية القديمة" ، بمعنى أنها ليست علمية .

تكونت الجبال ، كما نعرفها الآن ، برفع سطح الأرض على مدى ملايين السنين ، ثم أخذت عوامل التعرية من رياح وأمطار فى نحرها عبر ملايين أخرى من السنين ، ومعظم الصخور التى نشاهدها من النوع الرسوبى التى ترسبت على مر العصور فى أعماق البحار . تعمل الأنهار ومجارى المياه على نحت الضفاف ببطء مسببة تغييراً تدريجيا فى مسارها ، حتى إنها تشق الأخاديد فى بعض الأحيان (وقد يعترض مواطن من ميسورى تعرض بيته للغرق عند انحراف مسار نهر الميسيسيبى أثناء فيضانه الكبير سنة ١٩٩٣ على كلمة ببطء) .

كان الجيولوجيون فى أوائل و منتصف القرن العشرين ملتزمين بمفاهيم التدرجية والانتظامية ، لدرجة أنهم حاربوا بشراسة على مدى خمسة عقود من الزمن النظرية العبقرية لـ "ألفريد ويجنر" (Alfred Wegener) عن "الحراك القارى" ، وطرح "ويجنر" فكرة أن القارات من مادة أقل كثافة من الماجما المتصهرة الموجودة تحتها ، وأنها تطفو فوقها وتتحرك ببطء مقتربة ومبتعدة عن بعضها البعض ، ونحن ندرك الآن أن الألواح

التكتونية (Tectonic Plates) – الاسم التقنى لهذه العملية – هى المسئولة الأساسية عن الزلازل وثورات البراكين ، وفى الحقيقة أصبحت دراسة الألواح القارية وحراكها المحور الرئيسى فى الجيولوجيا الحديثة ، وبالرغم من الضجة الكبيرة التى أحدثتها الفكرة الثورية عن الحراك القارى ، فإنها فى الحقيقة لا تتعارض مع مبدأ التدرجية ؛ حيث إن تحرك الألواح القارية لا يتعدى بضعة سنتيمترات فى السنة .

ومع حلول سنة ١٩٨٠ أصبح الدور الذى تلعبه الكارثة مقبولاً من الفلكيين ، والخمسين أوسع النظريات قبولاً عن أصل القمر أنه نتيجة تصادم بين الأرض وكوكب آخر ، وهنا انتهت سيادة النظرية التدرجية ، أما فى العلوم الأخرى غير الفلك ، فلم يكن يقبل العلماء أن بعض الأحداث النادرة المتباعدة يمكن أن تفسر الظواهر ؛ حيث إن تلك الأحداث أصعب بكثير جدا فى دراستها من القوى التى تؤثر تدريجيا . كان الكثير من العلماء ينفرون بشدة من فكرة الظواهر العشوائية والمشوشة و الشواشية وغير المتوقعة . وكانوا يضعون هذه الأمور فى سلة واحدة مع ظاهرة الأطباق الطائرة والأشباح والمقدرات الخارقة فيما يسمى بالعلم الكاذب .

وفى خلال الخمسينيات والستينيات تسبب أحد الأطباء الذين انحدروا من أصل روسى واسمه "إيمانويل فيليكوفسكى" (Immanuel Velikovsky) فى إضفاء سمعة سيئة على فكرة الصدام بين الكواكب (على الأقل فى عالم العلوم الأصيلة (Orthodox Science)) وقد قدم عرضا دراميا للصدمات المدمرة فى كتبه واسعة الانتشار "العوالم المتصادمة" و"عصور من الفوضى" و"الأرض الثائرة" ، و ذلك فى فورة رد فعل عنيف ضد التدرجية القائمة عند الجيولوجيين، وتبعًا "لفيليكوفسكى" فإن هذه الصدمات لم تحدث منذ بلايين أو ملايين السنين ، بل حدثت فى العصور التاريخية القريبة ، وقد لاحظها وسجل تأثيراتها سكان الشرق الأوسط . لم تكن أفكاره مبنية على أساس الملاحظات الجيولوجية أو الحسابات الرياضية ، بل على دراسة أطلق عليها معظم الباحثين "فهماً خاطئا للمراجع القديمة والأساطير" ، وقد وجدت أفكار "فيليكوفسكى" إعجاباً شديداً لدى غير المثقفين علميا ، لكنها لم تكن تلتزم بقوانين الفيزياء ، فيذكر "فيليكوفسكى" فى كتبه أن الكواكب تعبر من مداراتها – فى خروج سافر على قوانين الميكانيكا – لتصطدم فى تصادمها مع كواكب أخرى .

وفي وجود مثل هذه الخلفية ليس مستغرباً أن يقاوم الجيولوجيون وعلماء الحياة القديمة بشراسة نظرية التصادم وفكرة كارثة K-T (اختصار الطباشيري – الثلثي Cretaceous-"Tertiary" مشيرة إلى الحد الفاصل بين حقبتين جيولوجيتين رئيسيتين) . كان كل جانب في البداية يتكلم فقط دون أن يستمع إلى الجانب الآخر أو يصغي إلى تفاصيل وجهات نظره . فبينما كان علماء الحياة القديمة "يعلمون" أن موت الديناصورات قد استغرق ملايين السنين ؛ فإن "لويس ألفاريز" كان "يعرف" أن سبب وجود الإيريديوم هو حدث فضائي خارجي ، وعلى مدى سنوات ، وفي الوقت الذي كان فيه "لوي" يرد على النقاد الكثيرين ، كان فريقه بقيادة ابنه "والتر" ماضياً في جمع عينات الصخور وتحليلها . كانت المناقشات من الحدة لدرجة أن المئات من الجيولوجيين قد عدلوا من مسار اهتمامهم ليشاركوا فيها ، وبحلول منتصف الثمانينيات وُجد الإيريديوم في ٨٠ موقعاً حول العالم . (يوجد الآن أكثر من مائة موقع ونُشر حوالي ٢٠٠٠ بحث تتعلق بكارثة (K-T)) وقد وُجد أن طبقة الطفلة الحاملة للإيريديوم متماثلة كيميائياً في الدانمرك وإيطاليا ومونتانا ، وتحت قاع الباسفيك الشمالي ، وحيثما عثر عليها الجيولوجيون في أي مكان .

وكان بعض المتشككين يدفعون بأن الإيريديوم قد ترسب في المحيط نتيجة التغيرات الكيميائية فيه ، لكن في عام ١٩٨٤ عثر فريق مسح جيولوجي أمريكي بقيادة "كارل أورث" (Carl Orth) على تركيز عالٍ من الإيريديوم في رواسب لم يحدث أن كانت قط تحت البحر ، وقد وُجد في نفس العينة أن نسبة حبوب اللقاح إلى أبواغ (جراثيم) السرخسيات قد انخفضت فجأة مع الارتفاع المفاجئ للإيريديوم ، ويبين ذلك أن الحياة النباتية قد تأثرت في نفس الوقت مع الحياة الحيوانية .

وقد وجد الجيولوجيون المنتمون لفريق "ألفاريز" كريات صغيرة غير عادية في طبقة الطفلة الداكنة فقط ولم يجدوها في طبقات الحجر الجيري المحيطة . كانت هذه الكريات الصغيرة المعروفة باسم "ميكروتكتيتات" "Microtektites" – حبيبات زجاجية متحجرة تكون نتيجة الحرارة الهائلة الناتجة من التصادم ، وذلك عندما تتطاير قطيرات الصخور المنصهرة ثم تتجمد مرة أخرى عندما تبرد ، وقد تتكون "الميكروتكتيتات" كذلك في ثورات البراكين العارمة ، ويبدو أن فريق "ألفاريز" لم يكن في استطاعته أن ينحّي جانباً مسئولية ثورة البراكين في انقراض الديناصورات منذ ٦٥ مليون سنة .

وقد اكتُشف في طبقة الطفلة ظاهرة أخرى تستبعد التفسير البركاني ، فعندما يتعرض الكوارتز العادي لضغط مهول – مثلما يحدث أثناء التصادمات مع النيازك أو بفعل الانفجارات النووية – تُكوِّن بلوراته تركيباً طبقياً فريداً ، وقد وُجدت فعلاً بلورات مثل هذه التركيبة في طبقة الطفلة التي عمرها ٦٥ مليون سنة ، ولا توجد مثل هذه البلورات في الشظايا البركانية ، ولا تستطيع أعنف البراكين أن تولد ضغطاً عالياً كالذي تسببه صدمات الشهب أو المذنبات .

وتحتوي طبقة الطفلة الفاصلة الموجودة في موقع نهر "برافوز" والمواقع المحيطة بالكاريبي على صخور مختلطة بغير نظام ، ويعتقد الجيولوجيون أن هذه الصخور قد ألقيت هناك بفعل موجة "تسونامي" ، كما يوجد فيها أيضاً كريات زجاجية لها خواص "الميكروتكتيتات" ، وقد اتضح أن تاريخ بعض المواد الزجاجية المأخوذة من التكوينات الصخرية في هايتي وفي أماكن أخرى يرجع إلى ٦٥مليون سنة .

وبالرغم من هذه الدلائل القاطعة على صحة نظرية الصدام ؛ فإن بعض الجيولوجيين وعلماء الحياة القديمة استمروا يشكّكون فيها ، وظل فريق صغير من الجيولوجيين مُصراً على أن الثورة البركانية وراء الزوال الشامل منذ ٦٥ مليون سنة . ترى ، هل هناك من الأدلة ما يستطيع إقناعهم ؟

وكدليل ضد نظرية الصدمة يستشهد بعض علماء الحياة القديمة بنجاة التماسيح والسلاحف – المعروفة بشدة حساسيتها للبرودة مثلها مثل الديناصورات – من واقعة الزوال الشامل ، غير أنهم لم يحاولوا أن يفسروا هذه الحقيقة بأنفسهم ، وفي كل الأحوال لا تزعم فرضية التصادم أن جميع صور الحياة قد أبيدت ، ولا تنكر في نفس الوقت أن يكون هناك أسباب أخرى للإبادة كانت تعمل جنباً إلى جنب مع التصادم .

وقد دفع بعض المتشككين بأنه لم يحدث موت مفاجئ للديناصورات، حيث إن حفرياتها لها انتشار رأسي ، وفي الحقيقة فإن آخر ظهور لحفريات بعض أنواع الديناصورات قد وجد في أزمنة تحت ٦٥ مليون سنة بكثير، ويبين عالم الحياة القديمة

الكندى المعروف "ديل راسل" (Dale Russel) أنه من الممكن إحصائيا تفسير الانتشار الرأسى لهذه الحفريات ؛ ذلك لأن حفريات الديناصورات نادرة - فتقريبا توجد كل حفريات الديناصورات المعروفة فى شمال أمريكا - وأن آخر هيكل محفوظ بشكل جيد لجنس معين منها يمكن أن يكون قد تحفر قبل التصادم بملايين السنين ، وتوجد بعض المؤشرات على أن الفناء قد تم على خطوات ؛ بمعنى أنه تم على عدة مراحل مستغرقًا مئات الآلاف أو ربما الملايين من السنين ، ولا يمكن استبعاد هذا الاحتمال ؛ لأن هناك فجوات فى سجل الحفريات ، لكن ذلك لا يتعارض مع حدوث صدمة واحدة مدمرة على الأقل ، وقد تكون هناك أكثر من صدمة ، أو أن آثار هذه الصدمة على بعض أنواع الحياة قد تأخر كثيراً .

وقد حصلت فرضية "ألفاريز" على دعم فى سنة ١٩٨٥ عندما اكتشف كيميائيون من جامعة شيكاغو: "إدوارد أندرس" (Edward Anders) و"ويندى وولباتش" (Wendy Wolbach) و"روى لويس" (Roy Lewis) - وجود السناج (الهباب) فى طبقة الطفلة ، ويتكون السناج أساساً من الكربون مثل الذى يتكون نتيجة احتراق الخشب ، وقد وجد السناج فى جميع أنحاء العالم مثل الإيريديوم ، وليس وجود السناج بذاته دليلاً على حدوث الصدمة، لكن فى وجوده دليل قاطع آخر على حدوث صدمة هائلة هزت الأرض منذ ٦٥ مليون سنة ، فإن السناج دليل مباشر على الأثر البيولوجى لهذه الصدمة ، وقد وجد العلماء الكثير من السناج ، وفى الحقيقة توصل هؤلاء العلماء إلى أن الغابات والأراضى الخضراء قد احترقت فى الحال ، وأن ١٠٪ على الأقل من الكتلة الحية على الأرض قد تحولت إلى لهيب من النار .

وما زال العلماء يتجادلون حول أى آثار الصدمة أحدث التلف الأكبر للحياة على الأرض ، ويشك الكثيرون منهم أن يتمكن الغبار والسناج وحدهما من منع عملية البناء الضوئى لمدة طويلة بما فيه الكفاية لإحداث الزوال الشامل وخاصة على اليابسة ، لقد تساقطت الحبيبات الأكبر من الغلاف الجوى فى عدة أيام ، أما الحبيبات الأصغر كثيراً فقد استغرقت ٦ أشهر لتستقر على الأرض ، ويراهن علماء الغلاف الجوى على أن ضباب حمض الكبريتيك الذى استمر لقرن كامل كان أكبر العوامل تأثيراً فى تدمير

الحياة ، ويعتقد بعض العلماء الآخرين أن التأثير اللحظى للانفجار والحرارة هما أكثر العوامل تدميراً - للحياة على اليابسة - على الأقل .

وقد وقع الكثير من عوامل القضاء الشامل على الحياة فى البحار خلال آخر ٦٠٠ مليون سنة ، قد يصل عددها إلى ١٢ موجة ، وعند نهاية العصر المسمى بالعصر البرمى (Permian Era) منذ ٢٥٠ مليون سنة اختفى أكثر من ٩٠٪ من كل أنواع المخلوقات البحرية ، وتحولت إلى حفريات فى حادث الزوال (الفناء) الشامل تتضاءل بجواره حوادث الزوال الأحدث ، ويعود تاريخ حادث كبير آخر للفناء الشامل إلى نهاية العهد الديفونى (Devonian Epoch) منذ ٣٦٥ مليون سنة. ترى ، هل هناك أسباب خارجية من الفضاء وراء هذه الأحداث ؟ لقد وجد الجيولوجيون زيادة من الإيريديوم - العلامة الخاصة بحدوث صدام مع شهاب أو مذنب - والكريات الزجاجية الدقيقة متزامنة مع الحدثين الأخيرين المذكورين أعلاه من حوادث الفناء الشامل ، لكن فى كلتا الحالتين لم يكن الإيريديوم بالكثرة والانتشار الموجود عليهما فى كارثة K-T

ثم وقعت حوادث أقل للزوال (الفناء) الشامل فى الخمسين مليون سنة الأخيرة ، وفى اثنين من هذه الكوارث (حدثتا منذ ٣٨ مليون و ١٢ مليون سنة) وجدت طبقة فاصلة غنية بالإيريديوم والكريات الزجاجية الدقيقة .

لماذا ترتبط بعض حوادث الزوال الشامل مع وجود الإيريديوم ، بينما لا يوجد فى البعض الآخر ؟ ربما تكون أحد الاحتمالات هو أننا لم نكتشف ونحدد بعد الطبقة الفاصلة المحتوية على الإيريديوم والمرتبطة بحوادث الزوال الشامل - وبالذات الأكثر قدما - ودراسة حوادث الزوال الأقدم أصعب بكثير من دراسة كارثة K-T ، حيث إن العمليات الجيولوجية مثل الرفع والتعرية قد أتيح لها وقت أكبر لطمس وتحطيم وخلط السجل الحفرى ، ومن الاحتمالات الأخرى حدوث بعض الصدمات الاحتكاكية (التى يكون فيها مسار الجسم المتصادم موازيًا لسطح الأرض فيحتك بها ولا يصطدم مباشرة بها) وفى هذه الحالة تنعكس معظم كتلة الشهاب عائدة إلى الفضاء ، ومن الممكن أخيراً تصور وقوع بعض حوادث الزوال نتيجة للصدام ، والبعض الآخر نتيجة أسباب أخرى مثل النشاط البركانى .

ويتقبل معظم العلماء الآن فكرة أن صداماً كان مسئولاً عن الكارثة التى وقعت منذ ٦٥مليون سنة ، وبحلول أواخر الثمانينيات كان الدليل الوحيد الذى تفتقر إليه فرضية "ألفاريز" هو الحفرة المخروطية التى أحدثتها الصدمة .

وبعد عشر سنوات من البحث تم إيجاد هذه الحفرة ، لكن للأسف لم يطل العمر بـ"لويس ألفاريز" ليشهد ما يؤكد نظريته (المجنونة) ، فقد مات عام ١٩٨٨ .

الفصل الخامس

دليل الجريمة

إذا قتل شهاب أو مذنب الديناصورات لكان لا بد له أن يترك حفرة مخروطية ، وعندما احتدمت المناقشات حول اكتشافات "ألفاريز" بدأ الجيولوجيون البحث فى جميع أنحاء العالم ، كانت مفاتيح الحل التى وجدوها فى البداية لا تذكر، أما الحفر القليلة التى يرجع تاريخها إلى ٦٥ مليون سنة (والموجودة ضمن المائة موقع أو أكثر الصدام) فكانت كلها أصغر من أن تكون راجعة لصدمة أحدثت هذا الفناء العظيم ، فصدمة من الكبر بحيث تدفع للغلاف الجوى بكميات من الغبار تحجب الشمس لعدة شهور، لا بد أن تتسبب فى إحداث حفرة مخروطية يتراوح قطرها بين ١٥٠و٢٠٠ كيلومتر، وعلى الرغم من عظم حجم هذه الحفرة ، فإن فرص العثور عليها لم تكن عمليا جيدة : فإذا كانت الحفرة على اليابسة لأخفتها عوامل التعرية بالكامل ، وإذا كانت أصلاً قد تكونت تحت البحر أو غمرت بعد الصدمة ، فإنها ستصبح مدفونة تحت طبقات سميكة من الرواسب .

ويغطى المحيط اليوم ٧٥٪ من سطح الأرض ، ويصل عمقه فى كثير من الأحيان إلى عدة كيلومترات تجعل من دراستها أمراً فى غاية الصعوبة، وخلال العصر الطباشيرى الدافئ الذى تسيدته الديناصورات ، كان كوكبنا مغطى بصورة أكبر بالمياه ، والأكثر من ذلك فإن كارثة K-T قد أثرت فى الحياة البحرية أكثر من الحياة البرية ، فقد نجا منها نسبة أكبر ، وقد يدفع أحد المحامين بأن هذه الأدلة الثانوية تشير فى الأغلب إلى حدوث الصدمة فى المحيط ، لكن الحراك القارى للأرض على مدى ٦٥ مليون سنة يحتمل أن يكون قد طمس الحفرة كلية ، خاصة إذا كانت تقع فى المحيط ، وفى أحسن

التقديرات عندما تطبق الألواح القارية فوق بعضها على مر العصور – منذ وقت الفناء العظيم – فإن معظم قاع المحيط قد التحم بعباءة الأرض (Earth's Mantle) ويقترح أحد الحلول أن يقع موقع الصدمة على الأقل بالقرب من اليابسة إن لم يكن فوقها كلية ؛ فالحبيبات الدقيقة للكوارتز المنسحقة وجدت في كل مكان حول العالم ، كما وجدت معها الإيريديوم المنتشر والقادم مع مقذوف من الفضاء الخارجي ضمن طبقة الطفلة، وبعيداً عن الجرف القارى ، فإن عمق المحيط يحتوى على القليل من الكوارتز (أو لا يحتوى على أى شيء منه) ، فالنيازك هي الأخرى تحتوى على كميات قليلة من الكوارتز ، لذلك فإن وجود بلورات الكوارتز في طبقة الطفلة يشير بقوة إلى أن الحفرة المخروطية لابد أن تكون بالقرب من أو كلية على اليابسة حيث ينتشر الكوارتز .

وفي الخمسينيات كان الجيوفيزيائيون من الشركة المكسيكية الاحتكارية الوطنية للبترول "بيمكس" (PEMEX) ينقبون عن البترول في جنوب المكسيك، وكانوا لذلك يبحثون عن عدم الانتظام في الجاذبية الأرضية والذى يمكن أن يبين وجود تركيبات غير عادية للصخور على أبعاد سحيقة في باطن الأرض أو تحت قاع البحر، فوجدوا تكوينات تستحق الاهتمام على عمق كيلومتر وعلى طول الساحل الشمالي لشبه جزيرة "يوكاتان" المشهورة بأهرامات مايان (Mayan Pyramids) . تم حفر الآبار لكن لم يكن بها بترول ، وكانت بعض الآبار تقطع صخوراً من الواضح أنها تعرضت للانصهار، ولم يكن يتخيل أحد أن يكون السبب وراء الانصهار صدمة قوية ، وعلاوة على ذلك لم يكن يعلم أحد في تلك الأيام الكثير عن الحفر الناجمة عن الصدمات الأرضية ، وقد صنف جيولوجيو شركة "بيمكس" هذه التكوينات – خطأ – على أنها قباب بركانية .

وبحلول السبعينيات حصل جيولوجيو التنقيب عن البترول على وسيلة جديدة وقيّمة لاكتشافه باستخدام كشافات مغناطيسية فائقة الحساسية محمولة على الطائرات يمكنها رصد أى حيود أو تغيرات في مجال الأرض المغناطيسي ، وفي سنة ١٩٧٨ قررت شركة "بيمكس" أن تقوم بمسح شبه جزيرة "يوكاتان" مرة أخرى، لذلك استأجرت خدمات شركة من تكساس اسمها "الجيوفيزيائى الغربى" – "Western Geophysical" للقيام بهذا المسح ، وقد وجد "جلين بن فيلد" (Glen Penfield) الجيوفيزيائى الشاب الذى يعمل في الشركة الأخيرة – نسقاً غريباً في القياسات المغناطيسية ، فقد لوحظ

أنه تحت المياه الضحلة إلى الشمال من شبه جزيرة "يوكاتان" توجد تركيبية على شكل نصف دائرة مقوّس يتكون من شيء صخرى يختلف عن رواسب الحجر الجيرى التى تسود جيولوجية "يوكاتان" ، وعلى خريطة الجاذبية للمنطقة اكتشف "بن فيلد" قوساً آخر يقع في معظمه على اليابسة ، ولكنه مقوّس في الاتجاه المضاد للخريطة المغناطيسية ، وعند ربط القوسين معاً تكونت دائرة شبه كاملة . تعرّف "بن فيلد" – و هو في غاية الإثارة – على وجود حفرة مخروطية لصدمة يقع جزء منها تحت البحر الكاريبي ، والجزء الآخر مدفون بعمق تحت تربة "يوكاتان" .

تحفّظت شركة "بيمكس" في البداية على السماح بنشر نتائج الدراسات – مثل أى شركة بترول أخرى تعتبر هذه المعلومات سرية – وفي عام ١٩٨٦ عندما قام اكتشاف "الفاريز" للإيريديوم بتغيير الاتجاه العلمي لكثير من الجيولوجيين، وقد تمكن "بن فيلد" ورئيسه في شركة "بيمكس" – "أنطونيو كامارجو" (Antonio Camargo) – من الحصول على إذن بتقديم معلوماتهم للنشر، وقد يبدو من المدهش اليوم أن المجتمع الجيولوجي لم يهلل فرحاً باكتشاف "بن فيلد" عندما سمعوا به، وفي الحقيقة لم يكن هناك أى تجاوب منهم على الإطلاق ؛ وربما يعود هذا النهج الغريب إلى أن "بن فيلد" و"كامارجو" كانا من خارج المجتمع الجيولوجي الأكاديمي ، ولم يقوما بتقديم ما توصلا إليه في المجلات أو المؤتمرات التى كانت تلتهب بالمجادلات حول نظرية الصدمة ، وعلى كل الأحوال لم يتم الاعتراف بحفرة "يوكاتان" على أنها الموقع الذى لا يقبل النقاش الناتج عن الصدمة العظمى إلا بعد عقد من الزمن ، وتُعرف هذه الحفرة الآن باسم "تشيكسلوب" – "Chicxulub" نسبة إلى اسم الميناء الراقد في منتصف هذه الحفرة .

وخلال الثمانينيات ظهر بالتدريج دليل مستقل يشير إلى موقع الصدمة في الكاريبي . لم تنجح كل محاولات الربط بين الحفر المعروفة على اليابسة و طبقة الطفلة الفاصلة K-T ذات الإيريديوم الغامض ، لكن الجيولوجيين اكتشفوا رواسب مخلوطة من صخور يصل سمكها إلى عدة أمتار تبدو وكأنها قد ألقيت بواسطة سلسلة من موجات التسونامى العملاقة ، وقد ظهرت الرواسب التسونامية في كل من ألاباما وتكساس والميسيسيبي وكوبا وفي الولايات المكسيكية : تشيباس ، ونوفوليون ، وتاموليباس ، وفيراكروز ، وحتى في جوف البحار العميقة في فلوريدا وهايتى . كانت هذه الرواسب

غنية بكريات الصدمة و الكوارتز المتسحق ، و كانت كلها تقع حول الحد الفاصل K-T في كل الحفريات ، حيث حدث بالتحديد الزوال (الفناء) الشامل .

وبالنسبة للإيريديوم فقد وُجد أن الرواسب الشواشية التسونامية حول الكاريبي مغطاة بطبقات غنية بالعنصر المذكور، وعلى العكس من طبقة الطفلة الرقيقة عن "جوبيو" بإيطاليا ؛ فإن هذه الرواسب السميكة كانت تحتوى على عدة طبقات مختلفة غنية بالإيريديوم ، وربما تكون هناك عدة أسباب وراء هذه التكرارية ؛ فيمكن أن يكون بعض الإيريديوم قد ترسَّب بعد ارتطام المذنب أو الشهاب مباشرة أو بعد ساعات أو بعد أيام ، وعندما ضربت موجات "التسونامى" فمن المحتمل أن تكون قد خلطت بغير نظام الطبقات المترسِّبة سابقًا مكونة طبقة جديدة خاصةً بها من المواد المحتوية على الإيريديوم ، و فيما بعد يمكن أن يترسَّب المزيد من الغبار المحتوى على الإيريديوم من السماء المظلمة .

وكان "آلان هيلدبراند" (Alan Hildebrand) الجيولوجي الشاب من جامعة أريزونا، من أوائل الذين أدركوا أهمية الرواسب التسونامية ، فقد وجد كل الأدلة على المواد التى تم قذفها من انفجار بعيد جدا ضمن طبقة طفلة مخضرَّة بالقرب من قرية فى هايتى اسمها "بيلوك". فاستنتج أن الصدمة قد حدثت فى أو بالقرب من حوض الكاريبي ، وبالصدفة كان قد سمع باكتشافات "بن فيلد" التى تمت مسبقًا، وقد فُقدت معظم عينات الحفر الخاصة بشركة "بيمكس"، لكن القليل منها أمكن الحصول عليه، وعندما قام "هيلدبراند" و"بن فيلد" ورفاقهما بتحليل هذه العينات الثمينة ، وجدوا كميات وافرة من الكوارتز المتسحق، وهو الدليل القاطع على حدوث صدمة عنيفة .

وقد تم تحديد تاريخ العينات المأخوذة من الحفرة المخروطية "تشيكسلوب" ، وكذلك الكريات الزجاجية الموجودة على مسافة مئات الأميال بعيداً فى رواسب الكاريبي بطريقة النظائر المشعة. توافقت تمامًا أعمار عينات الحفرة المخروطية و الكريات الزجاجية مع الرقم ٦٥ مليون سنة .

وما زال فى الجعبة نوع آخر من النتائج التى تدعم انتساب الحفرة المخروطية "تشيكسلوب" إلى صدمة K-T ؛ فحول شبه جزيرة "يوكاتان" تتناثر ثقوب ضخمة فى

الحجر الجيرى تتجمع فيها المياه أطلق عليها "Cenotes" أو الحفر الجوفاء. استخدمت هذه الثقوب المملوءة بالماء مع الأهرامات كمواقع لتقديم القرابين البشرية فى أزمنة "مايان" - (Mayan) ، وحاليًا تستخدم بعض هذه الثقوب كآبار، وفى مدينة "ميريدا" (Merida) عاصمة المنطقة - تم تحويل إحدى هذه "الحفر الجوفاء" إلى مطعم رومانسى على شكل كهف ، وتظهر هذه "الحفر الجوفاء" فى صور الأقمار الصناعية - التى لا تظهر فيها الحفرة المخروطية "تشيكسلوب" نفسها - على شكل قوس كبير مركزه فى قرية الصيادين "بورتوتشيكسلوب" ، ويحدد هذا القوس حافة الحفرة المخروطية كما حددتها قياسات الجاذبية و المغناطيسية بقطر يساوى ١٧٠ كيلومترًا .

وحفرة "تشيكسلوب" المخروطية هى أكبر حفرة مخروطية معروفة على الأرض ، وتتكون هذه الحفرة مثل أى حفرة مخروطية كبيرة من ٣ مناطق أساسية : تكونت المنطقة الوسطى - وقطرها حوالى ٩٠ كيلومتراً وعمقها عدة كيلومترات - من الانفجار الأول الذى أحدث فجوة هائلة سرعان ما انهارت، وتحتوى هذه المنطقة على معظم المادة المنصهرة من الارتطام ، وقد قدَّر "هيلدبراند" ومعاونوه حجم الصخر المنصهر بحوالى ٢٠٠٠٠ كيلومتر مكعب ، وفى منتصف الحفرة المخروطية هناك منطقة مرفوعة قطرها ٤٠ كيلومتراً نتجت عن تقوس قاع الفجوة ، وأخيراً المنطقة الخارجية المائلة إلى الداخل بقطر يساوى ١٧٠ كيلومتراً والتى ظهرت أثناء انهيار الفجوة الأولى ، ويزعم بعض الجيولوجيين أنهم عثروا على دلائل تشير إلى حلقات غير واضحة خارج نطاق حفرة "تشيكسلوب"، أى خارج الـ ٧٠ كيلومتراً، وأكبر هذه الحلقات يقع على مسافة ٣٠٠ كيلومتر من مركز الحفرة ، ولو ثبت أن وجود هذه الحلقات ليس صحيحاً ، فإن الحفرة المخروطية بنفسها تغطى مساحة شاسعة ، وتستطيع هذه الحفرة أن تستوعب مدنا كبرى بأكملها مثل نيويورك ، أو لوس أنجلوس ، أو لندن ، أو مكسيكو سيتى ، أو ساو باولو بضواحيها والمناطق الريفية المحيطة بها .

وما زال الجيولوجيون يكتشفون داخل الحلقة العظمى حول الحفرة المخروطية موادًا قذفت إلى الفضاء - بفعل الصدمة - والتى تسمى "المقذوفات الباليستية"، وكلما ابتعد الجيولوجيون عن موقع الحفرة ، وجدوا مقذوفات أقل عدداً، وتحتوى الصخور فى شبه جزيرة "يوكاتان" على كثير من الكبريت ، مما يؤكِّد فكرة سقوط أمطار من حمض

الكبريتيك التي جعلت من الصدمة أمراً مميتاً حتماً ، أما الطبقة الرقيقة المنتظمة من الطفلة والسناج والموجودة حول العالم في رواسب عمرها ٦٥ مليون سنة ؛ فإنها غير موجودة في المنطقة حول الحفرة المخروطية "تشيكسلوب" ، وتبين الرواسب الشواشية الغنية بالإيريديوم والموجودة حول منطقة الكاريبي تأثير موجات التسونامي العملاقة والتي مركزها موقع الصدمة .

ويبذل الجيولوجيون محاولات لوضع نموذج- مفصل بدقة ما أمكن- للارتطام الذي أحدث الحفرة المخروطية "تشيكسلوب" هل كان الجسم الغازي شهاباً أو مذنباً ؟ وهل اصطدم عموديا بالأرض أو كان مساره مائلاً ؟ وما حجمه ؟ وبمقارنة صور "تشيكسلوب" المأخوذة بالرادار مع الحفر المخروطية المحددة جيداً على سطح الزهرة والكواكب الأخرى توصل العالم "تشولز" (P.H. Schultz) من جامعة براون إلى نتائج شيقة ، فعلى كوكب الزهرة يمكن بسهولة التعرف على الصدمات المائلة ، وذلك من نسق الصخور المترسبة التي قُذفت في اتجاه الصدمة ، وتكون الحفر المخروطية أعمق في الاتجاه الذي جاء منه الجسم الفضائي وتقل عمقاً في الاتجاه العكسي ، والحلقة الداخلية في حفرة "تشيكسلوب" المخروطية مفتوحة من ناحية الشمال الغربي ، أما الحلقة الخارجية فإنها تبدو غير متصلة في هذا الاتجاه، كما يشير النسق المغناطيسي للحفرة في اتجاه الشمال الغربي. توصل "تشولز" من هذه النتائج إلى أن القذيفة اقتربت مسرعة من الأرض من ناحية الجنوب الشرقي بزاوية ٣٠ درجة فوق الأفق ، فإذا كان قطرها يقع بين ١٠ و ١٥ كيلومتراً ؛ لكانت سرعتها بين ٣٠ و ٣٥ كيلومتراً في الثانية (يتطلب الحجم الأصغر سرعة أكبر لإحداث نفس الدمار ، ومتوسط سرعة ارتطام النيازك بالأرض حوالي ١٧ كيلومتراً في الثانية) .

ولا بد لمسار بهذا الميل أن يحدث سحابة مخيفة من البخار الساخن تندفع بسرعة هائلة في الاتجاه الشمالي الغربي ، ولو حدث ذلك فإن عاصفة نارية مصحوبة برياح إعصارية مداها ٦٥٠ كيلومتراً سوف تبتلع الجزء الأكبر من خليج المكسيك ، وستجعل المياه العلوية منه تغلي ، وسوف يدفع هذا الانفجار بالصخور المنصهرة والصلبة في اتجاه ما يعرف الآن بالولايات الغربية في أمريكا بسرعة تفوق سرعة الصوت مسبباً حرائق لمنطقة مهولاً لمواطن الحياة و للحياة الحيوانية ، وفوق ذلك فإن كميات أخرى من

الطاقة سوف تنطلق بواسطة الصدام ، وسوف تتركز في سحابة منتظمة تقريباً من الشظايا مندفعة لأعلى من المنطقة الوسطى للصدمة ، وبعد الهجوم المتكرر والعاصفة النارية في البداية ، فإن معظم أمريكا الشمالية كان سيقاسي من انهمار القذائف العنيفة و الغازات الكبريتية الخانقة .

وتميل نتائج أبحاث "هيلدبراند" وزملائه إلى اعتبار زاوية اقتراب القذيفة أكثر حدة منها في حسابات "تشولز" ، وقد وجدوا أن بعض الصخور المنصهرة في وسط الحفرة المخروطية أغنى بالإيريديوم ، ومن المعروف أن المذنبات تحتوي على كمية أقل من الإيريديوم عن الشهب إذا تساوى الاثنان في الطاقة ، وبمقارنة كمية الإيريديوم المترسبة حول العالم بكتلة القذيفة اللازمة لإحداث حفرة "تشيكسلوب" توصل "والتر الفاريز" و"هيلدبراند" وعلماء آخرون إلى احتمال أن تكون القذيفة مذنباً، إذ يتطلب حدوث الحفرة المخروطية بصدمة شهاب نموذجي أن يرتد معظم الإيريديوم عائداً إلى الفضاء .

هل يمكن أن يحدث "تشيكسلوب" آخر في المستقبل ؟ وكم من الشهب والمذنبات تسبح حول المجموعة الشمسية في مدارات يمكن أن تزعج كوكب الأرض ؟ وهل يمكن أن ترتطم بكوكبنا عشوائيا أو تتجمع في أمطار نيزكية أو عواصف للمذنبات ؟ وما الذي يحدث إذا صدمت الأرض مذنبات أصغر، إذا حدث ذلك فعلاً ؟ و لابد لنا نحن قاطني هذا الكوكب – مثل قادة عسكريين جيدين – أن نعرف عدونا

الفصل السادس

الكويكبات

في ٢٨ أغسطس سنة ١٩٩٣ وقع حادث غير عادي بالمرة ، فقد حصلت سفينة الفضاء "جاليليو" على صور عن قرب لجسم صخري غير منتظم الشكل على بعد مئات الملايين من الكيلومترات من الأرض ، ولأول وهلة يبدو الجسم وكأنه حبة من البطاطس مغطاة بآلاف الحفر، إنه الكويكب إيدا (IdA) ، الذي يبلغ اتساعه ما لا يقل عن ٥٢ كيلومتراً ، وبالقرب من "جاليليو" رصدت المركبة رفيق "إيدا" المسمى "داكتايل" (Dactyl)، الذي يبلغ طوله ١٫٦ كيلومتر فقط ، وقد أكد اكتشاف "داكتايل" المغطى بالحفر ما كان يقوله هواة متابعة الكويكبات مراراً ، وهو : « تأتي هذه الصخور النيزكية الشاردة أحيانا في أزواج » .

ولا توجد وسيلة سريعة وواضحة للتمييز بين النيزك (Meteor) والكويكب (Asteroid)، فالاثنان يتكونان أساساً من الصخور متدرجة الحجم بدءاً من حبات الرمل وحتى حجم كوكب كبير، وينتهي النيزك أو ما يطلق عليه "النجم الثاقب" (Shooting Star) نهاية مفجعة لدى دخوله الغلاف الجوي للأرض بدون أن يسبب أذى ، وما يصل منه إلى سطح الأرض هو الذي تمكن من النجاة عند سقوطه ، وكمثال على ذلك يوجد في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي بنيويورك نيزك وزنه ٣٤ طناً، وآخر أكبر منه معروض في أفريقيا .

وأثناء رحلة "جاليليو" إلى المشترى التقت بكويكبات أو كواكب غاية في الصغر ضمن الحزام الذي يدور فيه معظمهم حول الشمس، ويقع بين المريخ والكوكب الغازي العملاق (المشترى) ، وفي أكتوبر ١٩٩١ مرت "جاليليو" بالقرب من "جاسبرا" (Gaspra)

وهو جسم يعادل في حجمه ثلث حجم "إيدا"، ويعطى للأرض بأول صورة واضحة لكويكب، وقد أعطت رحلة "جاليليو" للفلكيين واقعاً جديداً عن الكويكبات، حيث لم تعد مجرد نقاط مثل سن الدبوس في السماء تظهر خافتة في الصور الفلكية. وبالنظر إلى هذه الأشكال المثيرة - آخذين في الاعتبار حفرة "تشيكسلوب" المخروطية والمكتشفة حديثًا - فإن المرء لا يسعه إلا أن يتخيل أسوأ سيناريو محتمل: اندفاع واحدة من حبات البطاطس الكونية هذه مصطدمة بالأرض بسرعة بين ٢٠ إلى ٤٠ مرة أسرع من طلقة البندقية.

ويقدر الفلكيون الآن أعداد الكويكبات التي يزيد قطرها عن كيلومتر واحد ما بين مائة ألف ومليون، أما الأجسام الصخرية ذات القطر الأصغر الذي قد يصل إلى عدة أمتار فقط؛ فإن عددها يحتمل أن يقارب البلايين، وبالمقارنة فإن حجم النيزك المتوسط هو أقل من حبة الرمل، ويبلغ حجم النيزك الذي يتسبب في كرة نارية تدوم عدة ثوانٍ حجم حبة البازلاء، أما معظم النيازك - الصخور التي تنجو أثناء دخولها جو الأرض - فحجمها لا يزيد عن حجم قبضة اليد، وهي نادراً ما تخترق أسقف البيوت أو تصيب البشر، وتمثل الكويكبات والمذنبات طلقات الرصاص في ميدان للرماية يوجد فيه البشر كأحد الأهداف. كم من هذه الكويكبات والمذنبات مصوبة إلينا، وما احتمال خطورتها؟

ولعله من المريح أن نعرف أن كل الكويكبات الخطرة قد اكتشفت وتتم متابعتها على الدوام بواسطة الفلكيين اليقظين؛ لذا ليس علينا أن نعيش في رعب منها، وفي الحقيقة هناك كويكبات لم تكتشف بعد، أكثر خطورة من التي نعرفها، تهيم متقاطعة مع مسارنا، ومع أن الفلكيين قد عرفوا الكويكبات منذ ما يقرب من ٢٠٠ سنة، إلا أنهم لم يتمكنوا من معرفة الطريقة التي هرب بها بعضهم من حزام الكويكبات الرئيسي، في مدارات "حمراء" تتقاطع مع مدارنا حول الشمس، إلا منذ بضع سنوات.

ويطلق على الكويكبات "الحمراء" "عابرات الأرض" (Earth Crossers) وقد اكتشفت أول القميرات (Moonlet) المميتة ذات الخطورة الكامنة في عام ١٩٣٢، وسميت "أبولو" (Apollo)، لكنها سرعان ما "فقدت"، وفي سنة ١٩٣٦ اقترب من الأرض "أدونيس" (Adonis) - الذي نعتقد الآن أن اتساعه أقل قليلاً من كيلومتر واحد - لمسافة

٢ مليون كيلومتر؛ أي حوالي خمسة أضعاف المسافة إلى القمر، وفي عام ١٩٣٧ مرق "هيرمز" (Hermes) وهو "ملامس حقيقي للأرض" (Earth Grazer) على مسافة تعادل فقط ضعف المسافة للقمر، وقد علمنا بحدوث شيء مشابه في عام ١٩٨٩ لكن بعد أن مر الجسم - الذي حجمه كيلومتر واحد - الأرض، ولو بكر في عبوره بست ساعات فقط لأطاح انفجار مدمر مقداره عدة ملايين ميجا طن بحضارتنا. أما في عام ١٩٩١ فقد اقترب من الأرض كويكب صغير (سعته ١٠ أمتار فقط) لمسافة تعادل نصف المسافة إلى القمر.

وبحلول نهاية الخمسينيات عرف الفلكيون بوجود ثمانية كويكبات "عابرات الأرض"، لكنهم فقدوا أثر معظمهم، ثم أعيد اكتشاف بعض هذه الكويكبات مثل "أبوللو" بالصدفة، حيث اقترب لمسافة ٩ ملايين كيلومتر من الأرض سنة ١٩٨٠، ثم عاد واقترب مرة أخرى سنة ١٩٨٢؛ ولأن القليل من المراقبين قد اهتموا بتصنيف هذه الكويكبات، فقد قرر يوجين شوميكر (الجيولوجي الذي تحول إلى فلكي) أن يجعل من ذلك تخصصه (وشوميكر هو أحد مكتشفي المذنب شوميكر - ليفي ٩)، ويرجع الفضل لشوميكر وزوجته كارولين ومعاونيهم في معرفتنا لحوالي ٨٠ من عابرات الأرض، وهناك بضع عشرات من هذه الكويكبات لها مدارات تتقاطع أيضًا مع مدار المريخ ويطلق عليها كويكبات آتين (Aten) أو آمور (Amor)، ولأنهم يمكثون خلف مدار المريخ فترة طويلة، فإنهم يتأثرون كثيراً بجاذبية المشترى، أما أغرب هذه الكويكبات فهو "إيكاروس" (Icarus) ولهذا الصخر الذي في حجم جبل اتساعه كيلومتران مدار ممطوط يصل في أبعد نقطة إلى ما وراء المريخ، وفي أقرب نقطة يقترب من الشمس إلى مسافة أقل حتى من عطارد، وفي أقرب نقطة له من الشمس قد يتوهج حتى الاحمرار من الحرارة، ولا يقترب هذا الكويكب في مداره الحالي لأقل من ١٦ ضعف المسافة بين الأرض والقمر؛ ولذلك فهو لا يمثل تهديداً لنا.

ويتراوح قطر عابرات الأرض المشاغبة بين ١٠ أو ٢٠ كيلومتراً، وهي بذلك تقارب حجم الكويكب القاتل (أو المذنب) الذي أفنى الديناصورات، ومن الواضح أن مثل هذه الأجرام يجب مراقبتها بعناية! ويقدر شوميكر وفلكيون آخرون وجود أكثر من ٢٠٠٠ كويكب من عابرات الأرض ذات حجم يساوي أو يزيد عن كيلومتر، و٩٠٪ منها

لم يكتشف بعد، وقد يتسبب أى من هذه الأجسام فى صدمة كارثية ، ويمكن لكويكب قطره كيلومتر أن يحدث حفرة مخروطية قطرها ١٢كيلومتراً ، أى من الكبر بحيث تبتلع مدينة فى حجم سان فرانسيسكو ، وستكون مساحة الدمار أكبر من ذلك بكثير، وسيتسبب الغبار الذى سيحجب الشمس والضباب الخانق فى موت شامل يعم العالم، ويسبب التضور جوعاً مما قد يؤدى إلى الفناء الشامل ، والأمر الأكثر إزعاجًا هو أن معظم هذه الكويكبات مقدر لها الاصطدام بالأرض يوماً ما، وستقذف الكويكبات التى لن تصطدم بالأرض أو التى ستنجو من الصدام الحتمى مع المريخ أو الزهرة – خارج المجموعة الشمسية تحت تأثير جاذبية الكواكب، وخاصة المشترى، وسيتصادم القليل منها مع بعضها البعض ويتفتت ، ولا داعى للتفاؤل كثيراً لأنه إذا خرج أحد هذه الكويكبات من دائرة عابرات الأرض فسيحل محله آخر من حزام الكويكبات الرئيسى ، وتتراوح تقديرات معدل التصادم بين الكويكبات (بقطر كيلومتر أو أكبر) والأرض من مرة كل٢٥٠٠٠٠ سنة إلى مرة كل ٢مليون سنة تقريباً، ولا يعتبر هذا المعدل منخفضاً حتى نهمله أو تهمله شركات التأمين .

وماذا عن الكويكبات الكبرى ، وهل تمثل هى الأخرى تهديداً ؟ والجواب على الأرجح بالنفى باستثناء بعض الاعتبارات الخافية فى قوانين الميكانيكا السماوية (Celestial) ، وتبدو الكويكبات الكبرى وكأنها قد اعتقلت بصفة دائمة فى مدارات مستقرة تدور حول الشمس بين المشترى والمريخ ، والملك المتوج فى حزام الكويكبات هذه هو "سيريز" (Ceres) الذى يقدر قطره ما بين ٩٠٠ و ١٠٠٠ كيلومتر ؛ أى حوالى ثلث حجم القمر، ويلى ذلك "بالاس" (Pallas) و "فيستا" (Vesta) ، ويتراوح قطر كل منهما ما بين ٥٠٠ و ٦٠٠ كيلومتر ، وهناك ثلاثون آخرون يصل قطر كل منهم أكثر من ٢٠٠ كيلومتر ، بينما يوجد أكثر من ٢٠٠ لها قطر أكبر من ١٠٠ كيلومتر ، ويوما ما سوف يكتب عن كل هذه الكويكبات المهمة مجلدات بأكملها (أو أقراص مدمجة CD-Roms) وعلى كل فإن مدارات ما يقرب من ٣٠٠٠ كويكب معروفة بدقة، وهناك آلاف من الأشياء المرئية (Sightings) أمكن مشاهدتها ، ولكن حتى يتم الاعتراف باكتشافها لابد للفلكيين من تتبع مسار الكويكب لمدة تكفى لتحديد هذا المسار بدقة، وباستخدام التقنية المتاحة اليوم يمكن من الأرض مشاهدة ١٠٠٠٠٠ كويكب على الأقل .

ويمكن بسهولة رصد الكويكبات التى يصل حجمها إلى حد معين ، فهى تظهر على شكل خطوط طولية على الألواح الفوتوغرافية التى تعرضت فترة طويلة للسماء ، وبعضها يتم اكتشافه بالصدفة مثل ما حدث عندما قام الفلكيون بمسح صور المجرات لاكتشاف المستعرات العظمى ، وقد اكتشف الفلكيون الهواة مئات من هذه الكويكبات مستخدمين تلسكوبات متوسطة الحجم ، ومن المرجح أن يقوم الطلاب باكتشاف المزيد منها بعد انتشار استخدام الكمبيوتر فى علم الفلك ، لكن معظم الكويكبات تكتشف الآن على أيدى صيادى الكويكبات الفلكيين المحترفين ، خاصة من برنامج مراقبة الفضاء بجامعة أريزونا ، وكما سنرى ، فإن الفلكيين يخططون لزيادة معدل الاكتشاف حتى يتمكنوا فى النهاية من رصد أغلب عابرات الأرض .

ويعد قياس حجم الكويكب ضروريا وحتميا لمعرفة قدرته على إحداث الدمار، وأفضل الطرق عند الفلكيين – بالرغم من أنها غير مباشرة – هى استخدام كمية الضوء المنعكسة بواسطة الجسم (لمعانه الظاهرى) ومقدرته على عكس الضوء ، فألوان الضوء المنعكس من الكويكب وطيفه فى مدى الأشعة تحت الحمراء، والمرئية وفوق البنفسجية – يمكن أن تدل الفلكيين على شكل سطحه، ويتمكن الفلكيون من ذلك بشكل أخاذ عن طريق مقارنة طيف الكويكبات بأطياف النيازك مختلفة الأنواع ، وتعكس النيازك الساطعة ، والتى تتكون فى الأغلب من الحديد والنيكل – عشرين ضعف ما تعكسه أكثر النيازك إظلاماً، وبمعلومية درجة لمعان الكويكب ومقدرة سطحه على عكس الضوء ، يتمكن الفلكيون من معرفة حجمه ، ومن الأمور المهمة أن التوافق الممتاز بين أطياف النيازك والكويكبات يمدنا بالدليل القاطع على أن النيازك كانت فى وقت ما جزءاً من كويكبات أكبر .

ويصادف الحظ الفلكيين فى بعض الأحيان ، فعندما يمر كويكب أمام نجم ، فإن الزمن الذى يستغرقه اختفاء النجم وراء الكويكب يعتمد تماماً على حجم هذا الكويكب ، فإذا كان مدار الكويكب معلوماً أمكن حساب سرعته ، ومنها يمكن تعيين حجمه ، وما زال الفلكيون فى انتظار فرصة لقياس حجم "سيريز" ومعظم الكويكبات الكبرى الأخرى بهذه الطريقة، وقد قامت ثلاثون مجموعة مختلفة من الفلكيين بمراقبة "بالاس" –

ثانى أكبر كويكب – وهو يحجب أحد النجوم فى ٢٩ مايو ١٩٧٨م ، فوجدوا أن بالاس بيضاوى أكثر منه كروى وقطره الأكبر يصل إلى ٥٥٩كيلومتراً .

وأكبر الكويكبات التى تقترب منا وأكثرها إثارة هو "إيروس" (Eros) ، وهو لا يعتبر من عابرات الأرض (على الأقل ليس الآن) ، لكنه عندما يكون أقرب ما يمكن منا على مسافة ٢٣ مليون كيلومتر ، يمكن رؤيته بالنظارة المعظمة (وأحياناً يمكن رؤية فستا – رابع أكبر كويكب – بالعين المجردة) ، وفى سنة ١٩٣١ تمكن المراقبون باستخدام تلسكوب عاكس كبير من مشاهدة "إيروس" وهو يغير من شكله نتيجة لتقلبه فيما يبدو ، وفى عام ١٩٧٥ حجب إيروس نجماً بادى اللمعان للعين المجردة لمدة ثانيتين ونصف ، وقد توصل الفلكيون من هذا الاختفاء ومن قياس التغير السريع فى اللمعان إلى أن شكل إيروس يشبه قالب طوب أبعاده ٣٠×١٩×٧ كيلومترات .

وقد عرض الفيلم السينمائى "النيزك" **Meteor** فى سنة ١٩٧٩ ، حيث أظهر نيزكاً مغطى بالحفر المخروطية (وقد نسميه كويكباً) –يتقلب تماماً كما يفعل إيروس– متجهاً نحو الأرض، وفى الواقع تعتبر الصدمة التى صورها الفيلم معقولة ظاهريا ، حيث كان مأخوذاً عن تقرير لمعهد ماساتشوست للتقانة (MIT) الذى يتخيل ويناقش ما سوف يتبع صدمة كويكب مع الأرض ، لكن هل من المحتمل أن تهدد الأرض صدمة مع إيروس أو كويكب آخر متوسط الحجم؟ إن مثل هذه الأمور لو قيلت قبل سنوات من هذا التاريخ لاستدعت سخرية وازدراء الفلكيين لوجه الشبه بينها وبين ما ادعاه "فليكوفسكى" .

لكنا الآن غير راضين عن أنفسنا للأسباب الآتية: كان أصل الكويكبات عابرة الأرض وما زال أحد الأسرار الغامضة فى علم الفلك الخاص بالكواكب على مر الزمن ، لذلك فإن أصل الكويكبات عامة محل جدل ، وقرب نهاية القرن الثامن عشر، بدأ الفلكيون فى البحث عن الكواكب الصغرى فى مدارها الواقع بين المريخ والمشترى ، تبعاً لقانون "بود" (Bode) – القانون الذى يحدد المسافة بين الكواكب والشمس – والآن ... أن قانون "بود" يشير إلى كوكب مفقود بين المريخ والمشترى طبقاً للتوافق الرياضى، وعندما اكتشفت الكويكبات المختلفة التى تدور على البعد المتوقع من الشمس فإن الفلكيين أصبحوا يظنون أن الكوكب المفقود قد تحطم إلى هذه الأجزاء الصغرى ،

وقد وجد لاحقًا أن كتلة هذه الكويكبات مجتمعة أقل كثيراً من كتلة أى كوكب آخر، الأمر الذى جعل من فكرة الكوكب المفقود أقل إقناعاً، وبالإضافة إلى ذلك لم يتمكن أحد من إيجاد سبب معقول لانفجار جسم فى حجم كوكب .

والصورة الحالية للمجموعة الشمسية المبكرة فى بدايتها هى سديم شمسى بدائى من الغبار والغازات الذى أعطى حبيبات كوكبية رقيقة أو تجمعات للمادة التى بدورها ارتبطت ببعضها بواسطة الجاذبية والتصادم العشوائى، وبهذا الشكل فإن معظم الأجسام الكبرى فى المجموعة الشمسية قد استغرقت أزمنة طويلة لتتكون ، لكن الجاذبية القوية للمشترى كانت ستمنع الحبيبات الكوكبية من الالتحام ببعضها ، فمعظمهم كان سينجذب إلى المشترى أو يهرب كلية من المجموعة الشمسية ، ومع ذلك فعلى مسافات محددة بين المريخ والمشترى توجد مدارات ثابتة ، حيث نجد أغلب الكويكبات المعروفة فى الوقت الحالى .

ولا ينطبق هذا التصور على الكويكبات عابرة الأرض ، ولا على بضع عشرات من الأجسام الشاذة المحصورة فى موقعين على مدار المشترى نفسه ، وهى معروفة باسم كويكبات "تروجان" (Trojan) ، وفى النهاية لا ينطبق هذا التصور أيضاً على العالم الصغير والغريب جدا "تشيرون" (Chiron) الذى يدور بين زحل و أورانوس ، وقد اكتشف وسمى بواسطة "تشارلز كوال" (Charles Kowal) ، ويبدو أنه من نفس حجم أكبر كويكبات المشترى والمريخ ، وقد يكون واحداً من مجموعة العوالم الصغرى فيما وراء زحل .

ومعظم الكويكبات كروية الشكل لسبب بسيط وهو أنها مكونة من صخر ، وليست الصخور جامدة تماماً، فإذا وقع ضغط كاف على الكويكب الصخرى ، فإنه يغير من شكله، وبالنسبة لكوكب قطره أكبر من بضع مئات من الكيلومترات ، فإن قوى الجاذبية بين كل قطع الصخر ستكون من الشدة بحيث تشدها إلى بعضها البعض وتبقيها معاً، وكما يؤثر التوتر السطحى على نقطة السائل فيجعلها كروية ، كذلك يتحول الشكل غير المنتظم للكويكب إلى شكل كروى أو ما شابه ذلك فى النهاية ، وفى كلتا الحالتين فإن الكرة هى أكثر الحالات ثباتاً، لكن الكثير من الكويكبات لها شكل غير منتظم مثل

"إيروس" "وإيدا" و "جاسيرا"؛ ولأن قوة الجاذبية أقل فى الكويكبات الأصغر ، فإن هذه الكويكبات تحتفظ بشكلها غير المنتظم والمتفرد إلى مالا نهاية ، أو إلى أن تصطدم بشيء كبير في النهاية . ويعتقد الفلكيون أن التصادمات بين الكويكبات هي السبب في الأشكال الممزقة وغير المنتظمة التي نشاهدها، وأن بعض الكواكب الصغرى ليست إلا شظايا من تصادمات مهولة بين أجسام أكبر.

ومن أين جاءت عابرات الأرض ؟ اعتقد الفلكيون في البداية أن عابرات الأرض الغامضة قد نتجت عن تصادمات عنيفة في حزام الكويكبات، وهنا فإن الفيزياء البسيطة اعتراض : عندما يتصادم جسمان في غياب قوى خارجية ، فإن مركز ثقل كل منهما يستمر في الحركة بنفس السرعة (قانون بقاء العزم)؛ لذلك فإن مركز ثقل الأجسام المتصادمة في حزام الكويكبات لابد أن يظل في هذا الحزام ، ولأسباب مماثلة فإن أصل النيازك أمر يصعب فهمه ، غير أن تماثل أطيافها مع أطياف المواد في حزام الكويكبات أدى بالفلكيين إلى الاعتقاد بأن مصدرها هو حزام الكويكبات أيضاً .

وقد تكون بعض الكويكبات - وليس معظمها - من عابرات الأرض هي بقايا المذنبات التي فقدت ذيولها وهالاتها، وتتماثل المواد النيزكية الموجودة على الأرض عموماً مع مكونات الكويكبات أكثر من مكونات المذنبات أو النيازك ، مما يجعلنا نعتقد أن أصلها من عابرات الأرض .

وقد أوضح الفلكيون في السنوات الأخيرة كيف أن مدارات معينة في حزام الكويكبات قد تصبح فجأة غير مستقرة بعد ملايين السنين من الاستقرار الظاهري، وتمثل قوة الشد العظمى لجاذبية المشترى والتي يمكن أن تشبه تأثيرها بتأثير الشمس إلى حد ما- عاملاً أساسيا وراء عدم الاستقرار المذكور، وتنطبق القوانين الشواشية (Laws of Chaos) على هذه الأحداث، حيث تؤدي التغيرات الطفيفة في البداية إلى تغيرات كبيرة في النهاية (الفيزياء الحديثة) . كما في حالة الطقس، ومن غير الممكن التنبؤ بالنظام الشواشي - كما في حالة الطقس أو مدارات الكويكبات - على بعض المستويات ، ليس فقط لمجرد أنه نظام معقد، وتمارس ملايين الأجسام - حرفيا - قوى تجاذب على بعضها البعض في ديناميكا المدارات داخل حزام الكويكبات، حتى إن

الفلكيين لا يستطيعون التنبؤ أي من المدارات سيصبح غير مستقر ويطلق قذيفة في حجم الجبل في اتجاه الأرض، كذلك لا تتعارض الفيزياء الشواشية في تطبيقها على الشهب مع قانون بقاء العزم كما يبدو لأول وهلة، حيث إن عابرات الأرض تحصل على طاقة العزم الفائقة تجاه الأرض من تداخلها مع المشترى (و بنفس الطريقة تقريبا تكتسب السفن الفضائية - مثل جاليليو - سرعة كافية لتصل إلى المشترى بالطيران عبر مسار معقد مكتسبة العزم كأنها قذفت من مقلاع يدور حول الزهرة المندفعة مرة وحول الأرض مرتين) .

ويزيد كثيراً عدد الكويكبات عابرات الأرض المجهولة كما شاهدنا على المائة والخمسين - أو نحو ذلك - المعروفة المدار، ولقد أضافت اكتشافات ألفاريز للصدمة وحفرة تشيكسلوب قيمة جديدة لإيجاد ومتابعة الكويكبات الصغيرة ، خاصة عابرات الأرض. واعتقد الكثير من فلكيي الكواكب أن معظم كويكبات "أبوللو" و "آتين" و "آمور" ستصطدم في النهاية لا محالة بالأرض ، حتى لو أنها لا تملك عدم استقرار شواشي، كما أننا لم نراقب تلك الكويكبات بما فيه الكفاية حتى نستبعد إمكانية تصادمها في المرة القادمة عندما يقترب أحدها عائداً من رحلة حول المشترى .

والمعلومات التي لدينا الآن أقل من تلك عن الأجرام الأصغر كثيراً من كيلومتر (١٠٠ متر مثلاً) ؛ وذلك لأنها على الأغلب لا تظهر أثناء المسح الفلكي ، فرؤية كويكب صغير في مساره التصادمي صعبة ؛ لأنه لا يترك أثراً يذكر ، ولكن عند اقترابه النهائي يزداد سطوعه بالتدريج ، وعندما تكون على مسافات أبعد كثيراً من المسافة بين الأرض والقمر (على مسافة بضع ساعات بسرعة الكويكب) فإن هذه الأجرام لا ترى باستخدام أية تقنية بصرية حالية .

الفصل السابع

المذنبـــات

فى ليلة من عام ١٩٠٨ كانت السماء مليدة بالغيوم ، استسلم للإحباط فيها هواة الفلك المترقبون. كانت مئات ملايين الأطنان من الصخور في مسار تصادمي مع الأرض بسرعة ٢٠٠٠٠ متر في الثانية ، كان ذلك مذنباً صغيراً قطره أقل من ١٠٠ متر وكتلته بضعة ملايين الأطنان (مثل كتلة عشر ناقلات عملاقة) ، وعندما مرق كالصاعقة فى سماء سيبريا صباح ٣٠ يونيو من ذلك العام لم يلاحظ مساره المتقد إلا عدد قليل من الناس. وقد فوجئ سكان مدينة فانفارا البعيدة باللهب الساطع ، وذهلوا بالعمود الهائل من النار الذى اندفع إلى عنان السحاب على بعد ٦٠ كيلومتراً من مدينتهم . وقد تبع ذلك سحابة على شكل عيش الغراب (المشروم) تمددت مقتحمة الاستراتوسفير. وإذا حدث ذلك فى أيامنا هذه لاعتقدنا أن قنبلة نووية حرارية قد انفجرت ، وأن حرباً نووية قد بدأت. لم يكن سكان فانفارا على دراية بكل ذلك ، لكنهم شعروا بموجة هائلة من الحرارة المرتفعة وبموجة صدام رعدية قاسية تسببت فى كسر زجاج النوافذ ، والإطاحة بالناس أرضاً ، وانهيار أسقف المنازل كان الناس حائرين ، ما الذى حدث ؟ نحن نعرف الآن أن ذلك كان أكبر صدمة وقعت بين الأرض وجسم فضائى خارجى فى القرن العشرين .

فقد انفجر المذنب على ارتفاع ٨ كيلومترات فوق غابة صنوبر نائية فى حوض نهر تونجوسكا (Tunguska) الصخرى محدثاً دماراً على مساحة مئات الكيلومترات المربعة ، وعندما ارتفعت السحب المتوهجة فى الاستراتوسفير أصابت الفلاحين لمسافة مئات الكيلومترات بالدهشة ، وقد رأى وسمع الحادث المسافرون فى قطار يبعد ٥٠٠

كيلومتر (من موقع الصدمة) عبر سيبيريا، وقد سجلت الصدمة بواسطة المحطات السيزمية (محطات تسجيل الزلازل) حول العالم . لفت موجة الصدمة الهوائية حول الكرة الأرضية مرتين مؤثرة في الأجهزة العلمية دون أن تتلفها، ولاحظ الناس أثناء الليل في أوروبا توهجًا غريبًا في السماء، على مسافة آلاف الأميال شرقًا، واندفع السناج الناتج من الحريق عبر المحيط الباسفيكي مسببًا إظلام السماء في كاليفورنيا .

وتحت مركز الانفجار مباشرة فقدت الأشجار أوراقها لكنها ظلت واقفة ، أما بعيداً عن المركز فقد أطاح الانفجار بالأشجار في نسق متماثل بحيث أصبحت جميعها تشير في اتجاه بعيد عن المركز ، ولمسافة ٢٠ كيلومتراً تسطحت معظم الأشجار وبعضها أطيح به حتى مسافة ٤٠ كيلومتراً، وللغرابة كانت الأشجار مصابة بحروق سطحية لكنها لم تحترق تماماً . واليوم يعتقد بعض العلماء أن الحرارة المرتفعة من الانفجار أشعلت النار في الأشجار ، لكن موجة صدمة الانفجار الهوائية أخمدت الحريق، وقد تسبب الانفجار في قذف أحد الفلاحين أرضًا من شرفة منزله لكن لم يصب أحدٌ بإصابات جسيمة .

واعتماداً على الدمار الذي أحدثته الصدمة الغابة والتلفيات في فانفارا ، فقد أمكن حساب طاقة الانفجار بما يماثل قنبلة نووية حرارية قوتها ١٠ ميجا طن، ولو كان مركز الانفجار يقع في وسط مدينة كبرى بدلاً من غابة معزولة لسويت منطقة وسط المدينة بالأرض تماماً ، ولاشتعلت فيها النيران ، ولبلغ عدد الضحايا الملايين، ولكان الناس في المنطقة الريفية المحيطة بهذه المدينة قد أطيح بهم أرضاً بفعل موجة الانفجار .

ولم يكتشف حتى الآن إلا القليل نسبيا من الشظايا النيزكية في غابة تونجوسكا، كما أنه لم تتكون حفرة مخروطية ، الأمر الذي جعلنا نعتقد أن الانفجار قد حدث عالياً في الهواء ، وقد وجدت البعثات أخيراً كميات قليلة من الكريات الزجاجية والفلزية التي ربما تكون قد تكثفت من بخار المذنب (نتيجة الحرارة العالية)، ومن الممكن أن يكون هذا الغبار الذي ملأ الغلاف الجوي وراء سطوع السماء ليلاً لمسافات بعيدة ، ويعتبر مذنب تونجوسكا قزماً إذا قورن بالمذنبات الشهيرة ذات الذيول رائعة السطوع، ويعتقد بعض العلماء في الواقع أن نيزكًا صخريا ذا قطر يبلغ ٨٠ متراً هو السبب الأكثر

احتمالاً لانفجار تونجوسكا، لكن ليس هناك دليل حاسم ما إذا كان كويكبًا أم نيزكًا ؟ فلا يوجد تمييز مطلق بين الكويكبات والنيازك والمذنبات، ويصعب كثيراً التفريق بين المذنبات القديمة والكويكبات ، وسواء كان الجسم (في مثل حجم الذي سبب حادثة تونجوسكا) المتجه نحونا مباشرة كويكبًا أو مذنبًا متجهاً مباشرة نحونا ؛ فإنه من الصعب اكتشافه بالتلسكوب ، وقد يصطدم جسم قادم مشابه مستقبلاً بأى مكان على الأرض دون أي تحذير مسبق .

وقد ارتبطت المذنبات بالعقائد الخرافية طوال التاريخ المسجل ، وبالرغم من روعتها ، فإنها غالبًا ما تعتبر نذير شؤم يجلب المجاعات والأمراض والثورات أو الهزائم في الحروب ، ويظهر كل عشر سنوات مذنب ساطع لدرجة أنه يمكن مشاهدته بالعين المجردة ، والشكل النمطي للمذنب عبارة عن رقعة غير واضحة المعالم في السماء لها رأس ساطع وذنب طويل يتجه بعيداً عن الشمس ، وقد تظل مرئية ليلاً في السماء لأسابيع كثيرة ، ويظهر مرة كل قرن تقريبًا مذنب ساطع حتى إنه يمكن رؤيته في ضوء النهار ، ولا يبدو أن المذنبات تسرع عبر السماء مثل النيازك ، وبالأحرى فإنها تبدو معلقة بشكل غريب في مكانها ، وبمتابعتها ليلة بعد أخرى يمكن ملاحظة أنها تتحرك طفيفًا بالنسبة للنجوم ، وتميز هذه الحركة المذنبات عن المجرات والسدم التي تظهر خافتة لكنها لا تغير مكانها ، ويكتشف ويرصد الفلكيون الهواة والمحترفون المذنبات بمعدل يصل إلى ١٢ كل عام .

وتقع معظم المذنبات في مدارات بيضاوية مستطالة حول الشمس، وهي تمضي تقريبا كل فترة دورانها التي تصل إلى عدة ملايين من السنين مرتبطة بالمجموعة الشمسية ، وعلى بعد منا يبلغ آلاف المرات مثل المسافة بين الأرض والشمس ، وعندما يقترب المذنب من الشمس ، فإن حرارتها تبخر محتوياته من الغازات المتجمدة، ويتضخم ذيله بشكل هائل بفعل الضغط الإشعاعي الذي يدفع الغازات الملتهبة للخلف ، وليس الذيل الرائع الذي نشاهده إلا آثار الغاز المنتشر لمسافات شاسعة في الفضاء ، ونواة المذنب فقط صلبة وتتكون في معظمها من الماء المتجمد وجليد كل من النشادر وثاني أكسيد الكربون والميثان، ومعها بعض المواد الغريبة والسامة المتجمدة مثل الفورمالدهيد والسيانيدات ، ويختلط بالجليد كمية من الغبار والصخور قد تصل كتلتها إلى ثلث كتلة

المذنب الكثيف ، وقد أطلق عليها فريد ويبل (Fred Whipple) خبير المذنبات من جامعة هارفارد وأول من اقترح هذا التركيب – اسم " كرات الثلج القذرة " (Dirty Snow Balls) .

ويدوران كرة الثلج المذنبة ، أو بتعبير أدق جبل الجليد الصخرى ، حول الشمس يستمر ذيلها المكون من الغازات المتأينة المتوهجة ومن الغبار فى الاندفاع بعيداً عنها، ويظهر القلب الصلب للمذنب على شكل رأس دبوس دقيق من الضوء أثناء مشاهدته بأقوى التلسكوبات، وعندما كان أسطول من سفن الفضاء يتابع المذنب هالى سنة ١٩٨٦ كان من المستحيل تمييز أى نواة له، حتى عندما مرت نواة هالى مباشرة أمام الشمس سنة ١٩١٠ فإنها كانت أصغر من أن ترى، وموقع هذا المذنب واضح إلى حد ما، إلا أنه عندما تسخن النواة أثناء اقترابها مسرعة فى اتجاه الشمس تتكون حولها كرة مهولة من الغاز المضىء، ويمكن أن يصل قطر هذا الرأس أو السحابة إلى مليون كيلومتر أو أكثر مما يقزم النواة، والأنوية التى يزيد قطرها عن ٢٠ كيلومتراً نادرة ، لكن معظمها أصغر بكثير، ويحيط غاز الهيدروجين بهذه السحابة من كل جانب ، لا يرى إلا بالأشعة فوق البنفسجية .

وتجىء ذيول المذنبات على أشكال وأحجام رائعة ومختلفة ، فلبعض المذنبات ذيول قصيرة وسميكة ، أما البعض الآخر فذيوله رقيقة على شكل خصل ممتدة لمسافات بعيدة قد تغطى المسافة بين الأرض والشمس وتبلغ المائة وخمسين مليون كيلومتر، وقد ينقسم الذيل إلى شرائط متعددة وأقسام طولية معقدة ، وتندفع دوريا من رأس المذنب نافورات ونفثات من الغاز لتختلط بالذيل ، وللمذنبات ذيلان فى العادة أحدهما أزرق ويتكون غالبًا من الأيونات (الذرات التى فقدت الإلكترونات) والآخر يتكون فى معظمه من الغبار المائل إلى الاصفرار، ويميل الجزء الأيونى من الذيل إلى الاستقامة ؛ لأن مكوناته تتحرك بسرعة ويتغير مظهره من ليلة إلى أخرى ، أما الجزء الغبارى من الذيل والمكون من جزيئات أبطأ ، فإنه يتقوس مبتعداً عن الشمس وينتشر بصورة أكبر ، ويبدو الذيل أحياناً مثل قبة أو غطاء متعدد الطبقات، وقد صنف المشاهدون القدماء بعناية الأشكال المختلفة لذيول المذنبات وربطوا بكل ثقة بينها وبين شياطين معينة

كانت مثل هذه التكهنات ، فى الأغلب ، خاطئة ، إلا أنه لم يكن من الضرورى فى ذلك العهد – السابق على عهد العلم – التحقق من صحة تلك التنبؤات ، ليس هذا فحسب بل كان من الصعب تغيير نظام المعتقدات الذى ولد هذه الخرافات .

وقد اهتم بعض المشاهدين القدامى باحتمال اصطدام مذنب بالأرض وإحداثه دمارًا، وقد تخيل الفلكيون فى القرن التاسع عشر أن الأرض قد تمر عبر ذيل أحد المذنبات، وقد اكتشفوا وجود جزيئات عضوية ضمن غازات المذنبات بعضها سام مثل السيانوجين " (Cyanogen) وقد عمت أمريكا وأوروبا موجة عارمة من الرعب قبل وصول مذنب هالى سنة ١٩١٠مباشرة ، حيث تخيل الناس أنهم قد يموتون موتًا فظيعاً من تأثير التسمم بالسيانيد أو يحرقون ، لكن لم يكن لهذا الخوف أساس ؛ فكثافة المادة فى ذيل المذنب ضئيلة جدا، وجزيئات السيانوجين والمواد الأخرى الغريبة متفرقة بحيث لا يمكن أن تسبب أذى .

وتمثل المذنبات قصيرة الأجل جزءاً من المذنبات المكتشفة كل عام ، مثل مذنب هالى الشهير، وهى تدور حول الشمس فى فترة تتراوح بين ثلاث سنوات ومائتى سنة، وأحد أصغر هؤلاء الزوار يدعى "إنك" (Enck) ويستغرق ثلاث سنوات وأربعة أشهر حتى يعود، وقد تابع الفلكيون "إنك" لمدة مائة وخمسين عاماً تقريباً ، ووجدوا منذ فترة طويلة أن مساره الأهليجى (البيضى الشكل) يقع كلية داخل مدار المشترى ، وتشير الدلائل الفارضة إلى أن شظايا من إنك هى مصدر محتمل للدمار الذى حدث فى حوض تونجوسكا سنة ١٩٠٨ ؛ ففى هذه السنة تغير مدار إنك كما لو أن كتلة غليظة منه قد انفصلت مبتعدة عنه .

ويعتبر إنك طفلاً إذا قورن بالمذنبات، وقد قيس اللب الصلب الدوار بواسطة الرادار فوجد أن قطره لا يزيد عن كيلو مترين ، وحجمه يماثل جبلاً كبيراً أو قمة تل مثل " ماترهورن " (Matter Horn) وبمجرد دخوله المجموعة الشمسية فإن مذنباً مثل إنك أن يعيش أكثر من بضعة الاف من السنين، حيث تقوم أشعة الشمس بتبخير جليده تماما ، تاركة الغبار ونيازك صخرية فقط ، وإذا اقترب المذنب من المشترى ، فإن هذا الأخير العملاق سيقتنصه ويؤدى ذلك إلى احتمال تصادم كما حدث فى حالة مذنب شوميكر – ليفى ٩ .

وكان "إدموند هالي" (Edmund Halley) الفلكي اللامع هو أول من بيّن أن المذنبات يمكن أن تعود إلى الظهور، وفي دراسة رياضية متميزة قبل عصر الكمبيوتر والآلات الحاسبة استطاع تحليل ٢٤ مداراً لمذنبات مسجلة بين سنة ١٣٣٧ وسنة ١٦٩٨ ، وباستخدام قوانين نيوتن الحديثة – في ذلك الوقت – عن الحركة تمكن هالي من إثبات أن الزوار المدهشين الذين ظهروا في سنوات ١٥٣١، ١٦٠٧، ١٦٨٢ (وقد شاهد الأخير بنفسه) كانوا نفس الشيء ، مذنبًا يظهر كل ٧٥ سنة حمل اسمه فيما بعد، وقد تمكن حتى من حساب الفروق الطفيفة في مدار المذنب ، والتي تمت مشاهدتها أثناء ظهوره في المرات الثلاث المذكورة وذلك بحساب تأثير جاذبية المشترى وزحل، وبقياس مدة لمعان هذا المذنب تنبأ هالي بعودته إلى الظهور سنة ١٧٥٨و (سنة ١٨٣٤ ، سنة ١٩١٠، ١٩٨٦ .. وهكذا)، وقد وجد العلماء سجلات في البلاد المختلفة تتوافق مع كل مواعيد ظهور مذنب هالي منذ سنة ٢٣٩ ق.م .

وكان الفلكي الألماني الهاوي "يوهان باليتخ" (Johann Palitzch) أول من شاهد المذنب الذي تنبأ هالي بعودته ، وذلك في ليلة عيد الميلاد سنة ١٧٥٨ . كان ذلك نصراً ساحقًا ليس لهالي فقط بل ولنيوتن أيضًا، أما عودة المذنب سنة ١٩٨٦ فقد كانت انتصاراً من نوع آخر : حيث تمكن مالا يقل عن خمس سفن فضائية من الطيران والاقتراب منه والتقاط صور له عن قرب وجمع بيانات عنه ، وقد استطاعت سفينة الفضاء "جيوتو" (Giotto) التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية من تسجيل صور لمذنب هالي من مسافة تقارب بضع مئات الكيلومترات . أظهرت الصور نواة سوداء غير منتظمة الشكل أبعادها ٥ × ١٥كيلومتراً تقريبًا : أي ما يساوي مساحة سان فرانسيسكو تقريباً، ومن المثير أن هذا الحجم هو الحجم المطلوب تماماً لإحداث حفرة "تشيكسلوب" المخروطية .

ومن المحتمل أن يكون لبعض المذنبات أنوية أكبر بكثير وتقترب من حجم الكويكبات الكبرى ، حيث يبلغ قطرها عدة مئات من الكيلومترات ، وقد أمكن رؤية أحد ألمع المذنبات التي سجلت على الإطلاق – وهو المذنب الكبير الذي ظهر سنة ١٧٢٩ – بسهولة بالعين المجردة ، وكانت أقرب نقطة على مداره من الشمس (بيريهليون (Porihelion)

بعيدة جدا في الواقع ، وتقع تقريباً عند أقصى حد لحزام الكويكبات ، وبالتالي لابد أن يكون جسماً كبيراً جدا حتى يمكن مشاهدته ساطعًا بهذه الدرجة على هذا البعد .

وتقترب بعض المذنبات الأخرى من الشمس حتى إنها تكاد تصطدم بها ، وفي سنة ١٩٦٥ اقترب مذنب "إيكياسيكي" (Ikeya - Seki) لمسافة ١,٢ مليون كيلومتر من الشمس ، وقد لا تبدو لك هذه المسافة قصيرة حتى تعلم أن قطر الشمس نفسه حوالى ١,٤ مليون كيلومتر ، وعلى مسافة كهذه فإن قوى المد الشمسي (Tidal Forces) من الشدة بحيث مزقت "إيكياسيكي" إلى شطرين ، أما المذنب الكبير الذي ظهر في سنة ١٦٨٠ فقد اقترب أكثر من الشمس لحوالي ١٠٠٠٠٠ كيلومتر لكنه للغرابة لم يتمزق، وقد اقترب المذنب "هوارد- كومين – ميتشل" (Howard - Koomin - Michels) والذي اكتشف سنة ١٩٧٩ لدرجة كبيرة من الشمس حتى إنه بعد أن دار حولها عاد بدون رأسه بينما ظل ذيله مرئيا لعدة أيام قبل أن يتمزق ويختفي .

ومن المفترض أن تصطدم بعض المذنبات بالشمس إلا أنه لم يحدث أن شاهد أحد ذلك حتى الآن ، وحتى إذا لم يتمزق المذنب أو يصطدم بأي شيء ، فإن كل دورة له حول الشمس تتسبب في تبخر كمية أكبر من جليده كاشفة طبقات أعمق وأقدم من المواد المتجمدة بداخله ، وفي نفس الوقت يتم قذف كمية من غبار هذا المذنب إلى الفضاء ، وفي هذا السياق فإن المذنبات مآلها الموت ؛ حيث إنه بعد عدة مرات من عودتها إلى الظهور ستختزل إلى مجرد صخور غير قادرة على تكوين الذيول الرائعة، وهذا سيكون مستحيلاً تمييزها عن الكويكبات فيما عدا مداراتها فقط ، والعديد من الكويكبات التي تتجه نحو الأرض مدارات تشابه تلك المعروفة بالمذنبات قصيرة الدورة .

وحتى عندما لا توجد مذنبات قريبة من الأرض فإن تأثيرها ملحوظ ، فقد ملأت المذنبات المجموعة الشمسية بالغبار ويمكن مشاهدة الضوء المشتت على الغبار الفضائي بعد غروب الشمس ، الأمر الذي يصعب مشاهدته في المدينة ، ولا يمكن رؤية هذا الضوء السماوي إلا في الليالي الحالكة وفي أماكن بعيدة عن المدن وأضوائها . انظر إلى الوهج الخافت فوق الأفق بالقرب من مكان غروب الشمس ، ومن الممكن أيضاً أن ترى في الموقع المقابل لغروب الشمس وهجاً من نفس المصدر يسمى "جيجين شاين"

أو الوهج العاكس (Gegenschein) ، وينتج كلاً من الوهج الخافت والوهج العاكس من تشتت الضوء على الغبار، الذي تخلف عن مرور المذنبات وتمزقها، ومن المحتمل أن يندفع بعض الغبار في الفضاء نتيجة صدمات الكويكبات القوية التي تحدث الحفر المخروطية على أسطح الكواكب وأقمارها، وتكتسب بعض هذه المواد المرتدة سرعة هروب ، وبالتالي فهي لا تعود إلى كوكبها الأصلي . ولابد لغبار المجموعة الشمسية أن يتجدد باستمرار ؛ لأن ضوء الشمس يبطئ من سرعته (اكتشاف في الفيزياء، يسمى ظاهرة بايونيتج - روبرتسون (Poynting - Robertson)) وينتهي به الأمر إلى الدوران حلزونيا والسقوط على الشمس ، وحيث إن الوهج يستمر بنفس الدرجة ، فإن ذلك يعني أن الغبار يتولد باستمرار .

ولقد تمت مشاهدة حوالي ألف مذنب بواسطة الفلكيين أو المشاهدين الآخرين خلال التاريخ المسجل ، حيث ظهر معظمها كقطع خافتة في مسار واحد حول الشمس ، وفي الواقع تمثل المذنبات قصيرة الدورة التي تعود إلى الظهور عدة مرات الأقلية منها. أما المذنبات طويلة الدورة فلها مدارات من الكبر بحيث تمضي معظم عمرها على مسافات بعيدة جدا عن الأرض، ومن الممكن إحصاء العدد الكلي للمذنبات باستخدام معدل ظهورها (حوالي ٦ مذنبات في العام) وحسابات أخرى، ويسود الاعتقاد الآن أنها تقارب عدة تريليونات (التريليون هو مليون مليون)، وافترض الفلكيون لمئات السنوات أن العدد الهائل من المذنبات لم يكتشف بعد ، ولقد أوضحت قياسات مدارات المذنبات أن قصيرة الدورة منها تدور في نفس مستوى دوران الكواكب وأقمارها (يعرف بمستوى البروج (ecliptic)) ويدور معظمها حول الشمس في نفس اتجاه دوران الكواكب، إلا أن مذنب شوميكر- ليفي ٩ كان استثناءً غريباً من هذه القاعدة ، وعلى العكس فإن مدارات المذنبات طويلة الدورة يمكن أن تقع في أي مستوى ، حتى إنها تشغل منطقة كروية هائلة من الفضاء حول الشمس وتمتد إلى نصف المسافة تقريباً بين الشمس وأقرب نجم ، وهي تميل إلى الدوران حول الشمس في اتجاه معاكس للكواكب وليس في نفس الاتجاه .

ولكن ، وحتى بداية هذا القرن ، لم يدر العلماء كيف يقذف بالمذنبات من مناطق بعيدة جدا ويؤتى بها إلى مسافات قريبة من الشمس .

وفي خلال الخمسينيات من هذا القرن أظهر العالم الهولندي "يان أورت" (Jan Oort) أن تأثير جاذبية التداخل المتكرر للمذنبات مع النجوم القريبة يغير من مستوى مدارات هذه المذنبات لتصبح خليطاً عشوائيا تقريباً، ويؤدي هذا الخلط (التداخل) إلى اقتراب المذنبات طويلة الدورة من الشمس من جميع الاتجاهات ، وتتحرك شمسنا (التي هي نفسها نجم) في منطقة من الفضاء عامرة بالعديد من النجوم الأخرى حاملة في رحلتها خلال مجرتنا، الكواكب والأعضاء الأصغر في المجموعة الشمسية بما في ذلك المذنبات ، وهي جميعها منجذبة إلى الشمس وليس لها فرصة كبيرة في الهروب ، وفي كل مرة تقترب فيها الشمس من نجم آخر تكتسب المذنبات دفعة قليلة أو اضطراباً، ويؤدي الاضطراب نتيجة اللقاء المتكرر مع النجوم إلى استطالة المدارات لعدد قليل (نسبي فقط) من بين العديد من المذنبات مما يسرع من سقوطها نحو الشمس ، وكنتيجة لركل " المذنبات بواسطة النجوم العابرة ؛ فإن بعضها يُلفظ كلية خارج المجموعة الشمسية .

وتدور المذنبات التي تنتظر هذا المصير حول الشمس في مخزن بارد في منطقة تسمى الآن سحابة أورت ، ومع أن الأجسام المكونة لسحابة أورت تسمى مذنبات إلا أنها خامدة ومتجمدة بعيدة عن التوهج المحتمل في بريق الشمس ، وتتمسك النظرية الحالية بأن هناك على الأقل ثلاث مناطق داخل سحابة المذنبات . تحتوي المنطقة الخارجية لسحابة أورت على حوالي ($١٠^{١٢}$) مذنباً وتشغل حجماً من الفضاء يتراوح بين ٢٠٠٠٠ و ٥٠٠٠٠ المسافة بين الشمس والأرض (المسافة بين الشمس والأرض تساوي ١٥٠ مليون كيلومتر ويطلق عليها وحدة فلكية أو (AU)) ، وفي قول آخر فإن سحابة أورت الخارجية تكوّن منطقة غاية في البعد من المجموعة الشمسية ، وربما يكون عدد المذنبات الموجودة في المنطقة الداخلية لسحابة أورت أكبر عشر مرات من المنطقة الخارجية، وهي تمتد من ٢٠٠٠٠ في الداخل إلى حوالي ٢٠٠٠ AU ، وفي المنطقة ما بين ٢٠٠٠ و ١٠٠ AU يوجد عدد قليل من المذنبات ، أما إلى الداخل من هذه المنطقة فهناك ملجأ آخر للمذنبات يسمى "سحابة كويبر" ، وقد شاهد الفلكيون حديثا وبواسطة التلسكوب الفضائي مذنبات " نائمة " (Sleeping) في سحابة كويبر، وقد أظهرت الدراسات التي أجريت عن قرب وجود عدة مشاكل - فإذا أطلقت سفينة فضاء

بنجاح فى اتجاه سحابة المذنبات فعلى الفلكيين الانتظار لآلاف السنين للحصول على النتائج بالراديو : فبمجرد وصول سفينة الفضاء إلى السحابة يكون من الصعب عليها رصد مواقع المذنبات لأنها بعيدة عن بعضها بدرجة كبيرة .

ولعله من الأمور المغرية أن نتصور سحابة أورت وكأنها معبأة بالمذنبات من بينها مذنب نادر يعبر صدفة المنطقة الداخلية للمجموعة الشمسية ، لكن الواقع هو العكس تماماً! فحجم سحابة أورت من الكبر بحيث تجعل متوسط المسافة بين المذنبات يزيد عدة مرات على حجم المجموعة الشمسية الداخلية بكواكبها ، ومن جهة أخرى فإنه فى أية لحظة توجد المئات من المذنبات فى المجموعة الشمسية الداخلية ، ينتمى معظمها إلى العائلة قصيرة الدورة، وواحد أو اثنين فقط منها طويل الدورة بشكل أصيل ، وبهذه الرؤية المتعمقة فإن سحابة أورت تصبح مكاناً منعزلاً بارداً بصورة لا يمكن تخيلها ، حيث يصل متوسط درجة الحرارة بضع درجات فقط فوق الصفر المطلق ، ومن المستحيل رؤية مذنب آخر من فوق السطح الجليدى لمذنب بطىء التقلب ، وتصير السماء سوداء حالكة دائمًا ليس بها كواكب أو أقمار ، وتحتوى على نجم واحد آخر بالضبط أكثر عتامة من سمائنا بالليل ، ألا وهو الشمس .

ويعتقد معظم فلكيى الكواكب أن المذنبات قصيرة الدورة مثل إنك وهالى كانت يومًا ما داخل سحابة كويبر ، وكما تركل النجوم المذنبات فى سحابة أورت نحو الشمس كذلك يفعل تأثير جاذبية نبتون حيث يقذف مذنبات كويبر فى مدارات تعبر المنطقة القريبة من الشمس، وأثناء مسارها يمكن أن تحيد بفعل المشترى إلى مدارات أصغر مثل مدار إنك .

ومع أن للناس العذر فى التخوف من المذنبات ، إلا أن لها فوائد ليس فقط لجمالها، فالمذنبات تقدم لنا هدية ثمينة وهى عينة من المادة لم يطرأ عليها أى تغير يذكر منذ نشأة المجموعة الشمسية من خمسة بلايين من السنين، وينظر إلى المذنبات عامة على أنها تتكون من مادة تركت منذ لحظة تكوين المجموعة الشمسية من ٥ ، ٤ بليون سنة ، ويعتقد أنها تكونت – أى المذنبات – نتيجة الانهيار الجاذبى لسحب الغبار والغازات ، كما حدث فى تكوين الكواكب ، وبينما تصادمت معظم الأجسام

بدات الحجوم القريبة من حجوم المذنبات (حوالى كيلومتر واحد) لتتحد لتصبح جزءاً فى كوكب : لقى البعض الآخر الموجود فى مدارات شديدة القرابة مصيراً آخر، ولقد أدت اللقاءات التى تمت بالصدفة مع جاذبية العمالقة الفتية، المشترى وزحل، إلى طردها خارج المجموعة الشمسية الداخلية، وهكذا نشأت سحابتا كويبر وأورت للمذنبات .

وبشكل عام ، فإن كتلة العشرة تريليون (١٠^{١٣}) مذنب المتوقعة – بمتوسط قطر لكل منها لا يزيد عن بضع كيلومترات قليلة – تعادل مجتمعة عشرات المرات من كتلة الأرض ، وبالرغم من عددها المهول فإن كتلتها الكلية تجعلها مكونًا ثانويا فى المجموعة الشمسية ، (يبلغ المشترى وحده ٣١٨ مرة حجم الأرض ، أما كتلة الشمس فهى ألف مرة أكبر من المشترى) ، وتزيد الكتلة الكلية للمذنبات (وكذلك العدد الكلى) كثيراً جدا عن كتلة وأعداد الكويكبات – على الأقل بالنسبة للمعروف منها حتى الآن – فكتلة كل الكويكبات مجتمعة لا تزيد عن ١٪ من كتلة الأرض ، ومن جهة أخرى قد تبدو الكويكبات أكثر إزعاجًا لنا لأنها تدور أقرب إلى الأرض من معظم المذنبات ، وما زلنا لا نعلم بما فيه الكفاية هل صدمة مذنب مميت أو تصادم مع كويكب هى الأكثر احتمالاً أن تحدث على الأرض! ومن المحتمل أن تكون الحفر المخروطية الهائلة الموجودة على الأجرام الأخرى فى المجموعة الشمسية – وهى أكبر بكثير من أى حفرة معروفة على الأرض – قد نتجت عن كويكبات صخرية عتيقة وليس بسبب المذنبات الجليدية ، هذه الحفر قديمة جدا، ويرجع تاريخ بعض الحفر المخروطية الصخرية علىّ سطح القمر إلى ٥ ، ٤ بليون سنة فى المتوسط ، كما حددت من الصخور التى جلبها رجال الفضاء من سفينة "أبوللو". كانت الصدمات المدمرة للعالم أكثر شيوعاً فى الأزمنة الشواشية الأولى للمجموعة الشمسية ـ أى منذ أكثر من ٤ بليون سنة ـ حين كانت الكويكبات الحمراء الكثرى تدور حول الشمس فى مدارات غير متمركزة بشكل منظم ، واستمر القذف إلى وقتنا هذا ، غير أن القذائف الأكبر والأكثر خطورة قد اصطدمت بشىء ما أو لفظت خارج المجموعة الشمسية ، كما أن الصغرى قد لفظت خارج المجموعة الشمسية منذ زمن بعيد.

ويبدو أن هذه المعلومات قد تقلل من تخوفنا ، لكن تنفس الصعداء ما زال سابقًا لأوانه، وحادث الفناء الشامل الذى حدث منذ ٦٥مليون سنة – أحد اثنين أو ثلاثة

حوادث هى الأكثر عنفًا فى سجل الحفريات - هو فى واقع الأمر حديث نسبيا ، ومنذ هذا التاريخ لم تتطور المجموعة الشمسية إلا قليلاً ، وقد استبعد القليل من القذائف الكبيرة خلال الخمس وستين مليون سنة الأخيرة مقارنة بالعملية العظمى لإعادة ترتيب البيت فى المجموعة الشمسية التى حدثت خلال الـ ٤,٤ بلايين سنة السابقة ، وتتجدد المذنبات الصغرى والكويكبات عابرة الأرض بنفس المعدل تقريبًا الذى تتصادم به مع الكواكب أو تلفظ خارج المجموعة الشمسية ! لذلك لم يتغير احتمال حدوث تصادم قاتل كثيراً منذ فناء الديناصورات، وما زالت فرصة أن تحدث كارثة مسببة زوالاً شاملاً ومفجرة لحفرة اتساعها ٢٠٠ كيلومتر هى مرة كل مائة مليون سنة ، لكن احتمال حدوث كوارث أقل عنفًا تاركة حفراً اتساعها ١٠٠ كيلومتر هى مرة كل ٢٠ مليون سنة فى المتوسط ، والذى ما زلنا غير متأكدين منه هو الفسحة الزمنية بين التصادمات ، فمثلاً، نحن لا نعلم ما إذا كان تصادم المذنبات يأتى متتاليًا على شكل عاصفة ، أو أن التصادمات العظمى تجىء عشوائية ولا يمكن التنبؤ بها، ويقول أحد الدلائل القوية المبنية على دراسة سجل الحفريات بأن الصدمات الكارثية بعيدة عن العشوائية، لكنها تحدث كجزء من نسق مميز .

الفصل الثامن

نيميسيس والفناء الشامل

ينقرض عدد كبير من الأنواع المزدهرة خلال فترة وجيزة نسبيا ، وذلك فى الأزمنة الحرجة فى سجل الحفريات ، ويحل محلها مخلوقات مختلفة أخرى تعيش فى نفس الظروف المناخية وفى نفس المساحات الجيولوجية ، ولم تكن الأنواع الجديدة بالضرورة أكثر مواءمة أو أكثر تكيفًا، وإنما ظهرت مؤخراً فقط فى تاريخ التطور. ومن بين الحالات المعروفة للانقراض، هناك خمس حالات تقف متميزة لأنها كانت أكثر عرضة للدمار الشامل عن الحالات الأخرى ، وبتحديد الفواصل الزمنية فى جيولوجية الأرض والتاريخ البيولوجى اتضح أن تلك الحالات الخمس المذكورة آنفًا قد وقعت منذ حوالى ٤٤٠، ٣٦٥، ٢٤٥، ٢١٠، و ٦٥ مليون سنة مضت ، وقد ارتبطت ثلاث حالات من هذه الخمس بوجود حُفَر مخروطية كبيرة ، وثلاث حالات كانت فيها طبقة الطفلة الفاصلة غنية بالإيريديوم مما يدفع للاعتقاد بحدوث صدمة مع جسم فضائى خارجى .

شهد آخر حادث انقراض كبير فى كارثة K-T منذ ٦٥ مليون سنة اختفاء حوالى ٥٠٪ من أجناس كل الحيوانات (الجنس هو تقسيم ما بين العائلة والنوع) وحوالى ثلثى أنواع الحيوانات ، وقد اختفت تمامًا كل الزواحف البحرية بما فى ذلك البليسيوصورات (Plesiosaurs) ذات الرقاب الطويلة ، والميسوصورات (Mosasaurs) ذات الزعانف مكان الأرجل ، والإكثيوصورات (Icthyosaurs) شبيهة سمك القرش ، وقد اختفت تمامًا كل أنواع الديناصورات البرية، أما الطيور التى تعتبر أحد أشكال الديناصورات فقد تمكنت من النجاة ، وتمكنت معظم أنواع النباتات الزهرية من عبور هذه الكارثة ، وعادت مرة ثانية بعد أن سادت السراخس (Fern's) سطح القارات (وهذا الاحتلال بواسطة السراخس هو ما يحدث تمامًا بعد حرائق الغابات فى الأيام الحالية:

وفيما بعد تبدأ الأشجار الصغيرة في مزاحمة السراخس التي تتشبث بالحياة تحت مظلة الغابة) .

ولا يخبرنا سجل الحفريات بوضوح ما إذا كان هذا الفناء العظيم قد تم في يوم واحد أو على مدار عدة ملايين من السنوات ، والجيولوجيا - على الأقل الآن - علم غير دقيق بالمرة فيما يتعلق بهذا الموضوع ، فالتعرية تجعل من هذا السجل أمراً يصعب قراءته، وطرائق التاريخ المستخدمة على درجة من عدم الدقة بحيث لا تسمح لعلماء الحياة القديمة بمقارنة سجل الحفريات في مواقع مختلفة حول العالم بصورة يمكن الاعتماد عليها، وحفريات الحيوانات الكبيرة مثل الديناصورات نادرة ، وقد حدث في أحد المواقع المهمة فجوة عمقها متران أو ٣ أمتار بين أحدث هياكل الديناصورات وطبقة الطفلة الغنية بالإيريديوم ، وكما أشار " ألفاريز " وكثيرون آخرون ، فإن هذه الفجوة لا تعني بالضرورة أن الديناصورات قد قضي عليها قبل حدوث الصدمة، وببساطه يمكن أن تكون هناك فترة زمنية لم يحدث أن حُفظ خلالها أي ديناصور بدرجة جيدة حتى يتحفر في الجزء الصغير الذي تمت دراسته من سطح الأرض ، وحيث إن متوسط المسافة بين هياكل الديناصورات يبلغ متراً واحداً تقريباً : فإن هذا التفسير مقبول إحصائيا، وعلى أي حال لا يوجد أي سبب يجعلنا نتوقع تركيز حفريات الديناصورات على الحد الفاصل K-T .

وطبقًا لعالم الحياة القديمة "دافيد روب" ، فإن بين الحالات الخمس الكبرى للفناء قد وقع العديد من حالات أخرى يزيد عددها قليلاً عن العشرين ، وفي هذه الحالات الأصغر تختفي نسبة أقل من الأجناس والأنواع ، فقد وقعت حالتا انقراض صغيرتان، إحداهما كانت منذ ٣٥ مليون سنة ، والأخرى منذ ٢٩٠ مليون سنة ، وقد ارتبطت كلتاهما بحفر مخروطية معروفة .

وقد ظل علماء الحياة القديمة يتجادلون في أسباب انقراض الحياة لعدة عقود قبل أن يربط فريق "ألفاريز" بين الصدمة وحدوث كارثة K-T ، وعلى الرغم من الشعور السائد بأنه ليست هناك آلية واحدة يمكن أن تتسيد تفسير هذه العملية المعقدة : فإن تفسير المناخ - ولا سيما البرودة والجفاف - هي الأكثر شيوعاً بين التفسيرات ، وكان

هناك العديد من التفسيرات الأخرى منها ارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر، والأوبئة، والتنافس الحاد بين الأنواع ، وتسمم مياه المحيطات ، والتغير في كيمياء الغلاف الجوي، والنشاط البركاني حول العالم ، وصدمات المذنبات أو الكويكبات ، وقد أكد "روب" في دراساته عن انقراض الحياة أنه من الصعب قتل الأنواع المستقرة المنتشرة بصورة جيدة جغرافيا، وقد توصل إلى نتيجة مفادها أن هناك أمراً غير عادي (الضربة الأولى (First Strike))لا بد أن يسبق معظم آليات الفناء حتى يتاح للأخيرة فرصة معقولة لتبدأ العمل ، فهل من المحتمل أن تكون صدمة من الفضاء الخارجي هي السبب الرئيسي لفناء الحياة ، وهل يمكن أن يكون هذا هو السبب الوحيد؟

كان لعالم الحياة القديمة "جون سيبكوسكي " (John Sepkoski) من جامعة شيكاغو - اهتمام خاص بمعرفة تواريخ بداية ظهور واختفاء أنواع معينة من الحفريات ، وفي سنة ١٩٨٢ وبعد أن جمع بيانات عن الحفريات لسنوات عديدة كتب مؤلفًا وافيًا عن ٣٥٠٠ عائلة ، وفي عام ١٩٨٤ وصل عدد الأجناس إلى ٣٠٠٠٠ بعد استخدام الحاسب الآلي، وقد أدرك "روب" و"سيبكوسكي " أن هذا الكم من البيانات قد يحتوي على نسق معين بسيط يمكن أن يلقي الضوء على آلية فناء الحياة، لكن لم يكن لديهما أي تصور محدد عن هذه الآلية ، وقد زعم عالم الحياة القديمة " آل فيشر " (Al Fisher) أن هناك فترة زمنية تبلغ ٣٢ مليون سنة بين كل حادث فناء والذي يليه ، لكن باستخدام طرق متنوعة لتحليل أكبر ١٢ حادث فناء شامل بالحاسب الآلي ، وجد "روب " و"سيبكوسكي" أن الفترة الزمنية المتكررة بين حوادث الفناء تبلغ ٢٦وليس ٣٢ مليون سنة، ولم يستطع هذان العالمان أن يتخلصا من تسلط فكرة الفترة الزمنية المتكررة بانتظام (كما هو متوقع من العلماء المدققين من حساباتهما) .

وقد قامت اثنتا عشرة ، أو أكثر ، فرقة علمية بإعادة تحليل نتائج "روب" و"سيبكوسكي " ليتأكدوا من دورية حدوث الفناء الشامل ، ووفقًا " لدافيد روب " فإن النتائج كانت متضاربة ، حيث كان نصف العلماء يؤيد دورية الفناء كل ٢٦ مليون سنة (بمراجعة طفيفة للفترات في بعض الحالات) ، بينما لم يجد النصف الآخر دليلاً مقنعًا على حدوث دورات بأي نظام زمني ، وظل روب نفسه على قناعة بأن دورية حدوث الفناء حقيقة واقعة، لكن معظم علماء الحياة القديمة لم يكونوا مع هذا الرأي، وهناك

اعتراض أكثر وزنًا هو أن تكرار الفترة الزمنية بين حوادث الفناء الظاهرة فى الحفريات يرجع إلى الفترة التى تحتاجها الحياة للنقاهة بعد حوادث الصدام القاتلة وليس إلى دورية هذه الحوادث نفسها .

كانت فترات التباعد المنتظمة كدوران الساعة بين الأحداث مثيرة للتساؤل، وقد تحصّل أحد مؤلفى هذا الكتاب "ريتشارد مولر" على نتائج "روب" و"سيبكوسكى" قبل نشرها، مما يجعله يصل إلى تفسير محتمل هو: يمكن أن يكون لشمسنا نجم مرافق صغير يدور حولها فى دورة تستغرق ٢٦ مليون سنة ، وعلى كل فإن معظم النجوم توجد فى أنظمة ثنائية ، ويدور كل من ألفارسانتورى وبروكسيما سانتورى - أقرب نجمين إلى الأرض - حول بعضهما، فإذا اقترب النجم المفترض المرافق للشمس من المجموعة الشمسية الداخلية كل ٢٦ مليون سنة ، فمن المحتمل أن يركل كثيراً من الكويكبات من مداراتها العادية ، ومن الممكن لواحد أو أكثر من هذه الكويكبات أن يرتطم بالأرض محدثًا الفناء .

ولا يوضح هذا التفسير دورية الأحداث السماوية فقط ، ولكن له فائدة جانبية مهمة وهى أن الكويكبات تأتى فى مجموعات ، وقد يجيب ذلك على إصرار علماء الحياة القديمة فى الاعتراض على نظرية الصدمة ، على أساس أن الديناصورات قد فنيت على مدى مئات الآلاف أو حتى الملايين من السنين وليس دفعة واحدة.نعم ، ربما يكون الأمر قد تطلب عدة صدمات ليحدث فناء الديناصورات ، وهكذا استطاع الفلكيون تقديم الإجابة .

ولسوء الحظ ، فإن التفسير الأول لدورية حدوث الفناء المذكور يحمل نقطة ضعف خطيرة : فالمدار الذى يأتى بالنجم المرافق قريبًا من الشمس لدرجة تمكنه من ركل الكويكبات من مداراتها، لا بد وأن يكون مستطالاً وغير مستقر، فالشد الذى تمارسه النجوم التى يعبر بجوارها هذا النجم المرافق سيغير من مداره كثيراً ، حتى إنه فى الدورة التالية لن يكون قريباً من المجموعة الشمسية الداخلية بأى شكل ، ولا يمكن للمدار المتغير أن يفسر دورية الأحداث .

وسرعان ما توصل " مولر " إلى مراجعة النظرية بشكل عملى وذلك أثناء اشتراكه مع فريق يضم الفلكيين " مارك دافيز " (Marc Davis) وبيت هت" (Piet Hut) ، فإذا تصورنا أن مدار النجم المرافق كان أقل استطالة وعلى شكل بيضة تقريباً ، وأن أقصى مسافة له عن الشمس تبلغ ٣ سنوات ضوئية ، وأقرب مسافة تصل إلى نصف سنة ضوئية (قد لا تبدو كلمة نصف سنة ضوئية الشىء الكثير ، لكنها مسافة تعادل ١٦٠ مرة أكبر من مدار بلوتو حول الشمس) فسيكون هذا المدار الأكثر استدارة أكثر استقراراً ومن الممكن أن يسبب دورية الصدمات .

ويمر النجم المرافق كل ٢٦ مليون سنة عبر سحب المذنبات " أورت " ، وهناك كما قال أورت ، فإن النجوم العابرة عشوائيا تسبب عدم استقرار مدارات بلايين المذنبات ، وسيكتسب بعضها طاقة وسرعة تطرده من المجموعة الشمسية، أما البعض الآخر فسيفقد طاقة ويبدأ السقوط فى طريق طويل باتجاه الشمس ، وقد تبين من حسابات الفريق أنه من كل بليون مذنب تم طرده هناك حوالى مليون قد تتقاطع مداراتها مع مدار الأرض ، ومن هذه المليون قد يرتطم اثنان بالأرض ، ويبدو أن هذه الأرقام صحيحة ، وربما تستغرق عملية قذف الأرض بالمذنبات مليون سنة ، وأثناء ذلك يمكن مشاهدة مذنب جديد كل ثلاثة أيام ، لكن القليل جدا منها سوف يصطدم بالأرض ، فلكل دورة كاملة للنجم المرافق قد يصطدم مذنب واحد أو اثنان أو ثلاثة أو أربعة أو حتى خمسة ، وقد يحدث بمحض الصدفة ألا يصطدم بالأرض أى شىء على الإطلاق .

وقد اقترح "مولر" تسمية النجم المرافق "نيميسيس" على اسم الإله الإغريقى الذى جعل الأرض خالية من أى شىء يتحدى سيادة الآلهة، ولابد من توجيه سؤال مهم قبل نشر هذه الفرضية الجديدة والمبهرة : هل مدار النجم المرافق مستقر أو أنه يتأثر بمرور النجوم الأكبر ؟

نشر "بيت هت" حسابات تبين أن زمن دورة "نيميسيس" الحالية - إذا وجدت - هى بليون سنة (هى دورة حياته) ويعنى ذلك أنه خلال البليون سنة القادمة هناك فرصة تصل إلى ٥٠٪ أن يقوم نجم عابر بطرد نيميسيس وقطع علاقته بالشمس منهيًا بذلك عصراً من الرعب ، ويعتمد رقم البليون سنة على حجم مدار نيميسيس الحالى ، ومن

حسابات "هت" فإن مدار نيميسيس قد ازداد تدريجيا عبر الخمسة بلايين سنة ، وهى عمر المجموعة الشمسية، وكان النجم المرافق يوماً ما أقرب كثيراً منه الآن وبالتالى كانت فترة دورانه أقل ، وعندما تكوّن نيميسيس فى الأصل مع الشمس والكواكب كانت دورته حينئذ تستغرق خمسة بلايين سنة ، ومواجهاته مع النجوم العابرة تؤدى فى المتوسط إلى زيادة فى طاقة نيميسيس واستطالة مداره ، وهو مشابه لما يفعله نيميسيس نفسه فى المذنبات داخل سحابة "أورت" يزيد من طاقاتها حتى إن عدد ما يغادر المجموعة الشمسية منها أكثر من العدد الذى يفقد طاقة ويسقط إلى الداخل .

وإذا كانت نظرية نيميسيس صحيحة ، فإن الجيولوجى "والتر ألفاريز" سرعان ما أدرك أنه لابد من دلائل على ذلك فى سجل الحفر المخروطية على الأرض مثل نسق منتظم فى تواريخ الصدمات ، وقد بدأ هو و"مولر" فى البحث عن الخاصية الدورية فى تواريخ حفر الصدمات المخروطية على الأرض ، وقد كان أول الأشكال البيانية التى درسوها محبطة : لم يكن هناك أى نسق واضح من هذه الأشكال، ولكن كثيراً من الحفر كان تاريخه غير دقيق بالمرة ، وكانت درجة عدم التيقن فى أعمارها تطمس ببساطة فكرة الدورية كل ٢٦ مليون سنة . كان الحل الذى اقترحه "ألفاريز" بسيطاً : إهمال الحفر التى ليس لها تاريخ دقيق ، وعندما تم اختزال المائة حفرة إلى ٢٤ ظهر أمر مثير، فقد كان هناك ثلاثة أو أربعة أزواج يفصل بين كل منها ٣٠ مليون سنة أو ما يقارب ذلك ، وكانت تحتوى على بعض الحفر الكبرى ، وعندما رسمت الحفر الأكبر فقط بيانيا بدت مجموعات منها متباعدة على فترات من ٢٦ إلى ٣٠ مليون سنة بمتوسط ٢٨ مليون سنة ، ثم تبع ذلك تحليل إحصائى مستفيض ، وباستخدام تحليل "فورييه" وهى تقنية رياضية جيدة لاكتشاف دورية البيانات – اتضح وجود قمة متكررة كل ٢٨ مليون سنة أعلى من أى عدم انتظام محتمل فى القياسات ، وعندما تمت الاستعانة بالكمبيوتر لحساب أعمار الحفر الموزعة عشوائيا وجد برنامج فورييه قمة مرتفعة نسبيا كل بضع مئات من المحاولات مثيراً ، ويعد ذلك مؤشراً إحصائيا كافياً مثيراً للاهمية ، لكنه ليس دليلاً قاطعاً على نظرية جديدة .

وفى سجل العلوم هناك تاريخ طويل من ادعاء الاكتشافات المبنية على أسس إحصائية، وهى تبدو مقنعة بدرجة معقولة لكنها سرعان ما تنهار مع زيادة المعلومات ،

وعلى المدى الطويل ليس من مصلحة سمعة أى عالم أن يشارك فى ادعاء أشياء مثل ذلك ، حتى ولو كان البحث المنشور سيجعله مشهوراً بين يوم وليلة . وفى هذا السياق فإن والتر ألفاريز وريتشارد مولر كانا معروفين جيداً لدرجة أنهما قد يفقدان أكثر مما يكسبان إذا نشرا نظرية نيميسيس ، وقد مر لويس ألفاريز نفسه بالعديد من هذه السيناريوهات ، وبالتأكيد حاول أن يحمي ابنه ومعه مولر من خطأ محتمل ، فكان يتأرجح بين التحمس الشديد والتخوف من نظرية نيميسيس، لكنه أخيراً حاول أن ينقص من قدر نظرية دورية الحفر المخروطية بشدة، بإظهار أن البيانات لم تكن ذات مغزى إحصائى ، أو بالأحرى كانت معيبة، وبعد أسابيع عديدة من الأخذ والعطاء مع مولر اقتنع لويس وتلاشت مخاوفه فأرسل بحثًا عن نيميسيس إلى مجلة (ناتشر) Na-ture للنشر .

وقد توصل فلكيان من ولاية لويزيانا الأمريكية "دانييل وايتماير" (Daniel Whitmire) والبرت جاكسون" (Albert Jackson) كل على حدة إلى نظرية مماثلة لتفسر الدورية البادية فى حوادث الفناء – أمطار من المذنبات تنهمر من نجم مرافق للشمس – لكنهما افترضا له مداراً غير متمركز بشكل حاد (وتبين أنه غير مستقر)، وقد أرسلا بحثهما إلى مجلة Nature ، كذلك تقدم وايتماير بفكرة الكوكب الذى يدور وراء بلوتو، ويستطيع كوكب مثل هذا – كما أوضح وايتماير – أن يؤثر فى الجزء الداخلى لسحابة المذنبات مسببًا انهمار أمطار منها ، لكن الكوكب قد ينشر أمطار المذنبات على مدار ملايين عديدة من السنين ، الأمر الذى يتناقض مع بيانات الفناء الشامل ، وتتركز نظرية أخرى حول الحركة الاهتزازية للشمس دخولاً وخروجًا من مستوى المجرة ، ومعروف جيداً أن هذه الحركة تستغرق حوالى ٣٢ مليون سنة، وقد تسبب اضطرابات دورية المذنبات فى سحابة أورت نظراً لتركيز النجوم فى مستوى المجرة وانعدام وجودها خارج هذا المستوى . ولسوء الحظ بالنسبة لهذه النظرية لا يوجد ارتباط بين العبور الفعلى للشمس خلال مستوى المجرة وأزمنة حدوث الفناء ، وكذلك فإن تلك الحركة الاهتزازية للشمس من الصغر بحيث لا تعطى التأثير المطلوب .

ومن الصعب أن يتخيل أحد فرضية جدلية ومثيرة أكثر من وجود نجم قاتل خفى يدور حول الشمس باعثًا قذائف مميتة إلى الأرض ، وفى عام ١٩٨٤ كانت المجلات

العلمية تزخر بالمناقشات والحجج الجادة ، لكن ما تفوه به بعض العلماء المهذبين عادة كان يحيد بهم عن جادة الصواب. كان الاهتمام الإعلامي الكبير يفوق الوصف ، فمثلاً وضعت مجلة " تايم " عنوان القصة على الغلاف وكانت هناك برامج وثائقية في التليفزيون وعدد لا نهائي من المحاورات التليفزيونية مع العلماء المعنيين ، ومقالات في جريدة " النيويورك تايمز" ، وفي إحدى هذه المقالات سنة ١٩٨٥ وعنوانها "الوضع غير الصحيح لأبراج الديناصورات" - كانت نهايتها كالتالي :-

"الأحداث الأرضية مثل النشاط البركاني أو التغير في المناخ أو مستوى سطح البحر - هي أكثر الأسباب احتمالاً وراء فناء الكتلة ، وعلى الفلكيين أن يتركوا المنجمين مهمة البحث عن سبب الأحداث الأرضية في النجوم" .

ومثل المد والجزر وتتابع الفصول كتب "والتر ألفاريز" وريتشارد مولر رداً في خطاب إلى التايمز:

" لقد ذكرتم أن "الأحداث المعقدة نادراً ما يكون لها تفسيرات بسيطة " ، ولعل تاريخ علم الفيزياء كله يناقض ذلك ، واقترحتم أنه " يجب على الفلكيين أن يتركوا البحث في أسباب الأحداث الأرضية التي تسببها النجوم للمنجمين " ، ولعلنا في المقابل نقترح أنه من الأفضل لمحرري الصحف أن يتركوا الحكم على المسائل العلمية للعلماء" .

ولقد سخر عالم الحياة الشهير " ستيفن جولد " (Stephen Gould) مما كُتب بجريدة التايمز مستعيراً تعبيراً كان قد نشر في جريدة إيطالية سنة ١٦٦٢ - " الآن وبعد أن تخلى سنيور جاليليو (وإن يكن تحت تأثير خارجي) عن معتقد المؤثر الخارجي على حركة الأرض، فربما يجب أن يعود التلاميذ الذين يدرسون الفيزياء إلى حل مشاكل التسليح والملاحة ويتركوا حل المشكلات الكونية لما درسوه في الكتب المقدسة التي لا تخطئ" .

أما "كارل ساجان " (Carl Sagan) فقد وجد أن نظرية النيميسيس نظرية جادة وجديرة بالاحترام .

وقد كتب ساجان خطاباً شخصيا إلى جريدة النيويورك تايمز مدافعاً عن نظرية النيميسيس، وظل الجدل حول تلك النظرية محتدما لسنوات عديدة دون أن يحسم .

ولقد أصبح المفهوم القائل بأن الصدمات الخارجية تسبب كوارث مدمرة على الأرض أمراً مقبولاً تماماً اليوم ، وكذلك أصبح الربط بين الفناء الشامل على الحد الفاصل K-T والصدمة المسببة لحفرة تشكسلوب شيئاً مقنعاً للغاية .

ويعتقد الكثير من الناس ، بما فيهم علماء الفلك الذين من المفروض أن يعلموا أكثر من غيرهم، أن نظرية النيميسيس القائلة بأن المدار غير مستقر قد دحضت ، وطبعاً (أو من المسلم به) فالمدار غير مستقر وزمن دورته المتوقع حوالي بليون سنة كما عرض في البحث الأصلي المنشور عن نظرية النيميسيس، وقد تم التحقق من ذلك بالتفصيل بواسطة "هت" ، وحيث إن عمر المجموعة الشمسية خمسة بلايين من السنوات ، فكثير من الناس يعتقدون أن مداراً عمره بليون عام لا يستطيع أن يستمر في البقاء ، بمعنى أن المدار لن يمكث إلا بليوناً واحداً من السنوات فقط في حياة المجموعة الشمسية ، ولكنهم يخلطون بين زمن الحياة الحالي للمدار ومدة بقائه في الماضي ، فإن مدار النيميسيس ما فتئ يتناقص ببطء منذ تكوين المجموعة الشمسية، ولقد أثبت "بيت هت" أن العمر المتوقع لمدار النيميسيس منذ خمسة بلايين من السنين كان ٦ بليون سنة، أى أنه لم يتبق (تبعاً للنظرية) من عمر النيميسيس إلا بليون واحد من السنين .

ربما يكون هناك سبب وجيه للتشكك في نظرية النيميسيس، ولكن يظل التساؤل المنطقي هو لماذا لم يشاهد النيميسيس بتاتاً ؟ ! فمسافة ثلاث سنوات ضوئية تعني أنه أقرب النجوم منا ويعد أقرب من زوج السنتاوري (Cenntauri) بأكثر من سنة ضوئية . الاجابة أن النيميسيس إذا وُجِد فهو من الصغر والعتامة لدرجة يصعب معها رؤيته، (ونحن نفترض أن نيميسيس هو قزم أحمر عادى مثل معظم النجوم المرئية الأصغر كثيراً من الشمس)، وحتى يتمكن نيميسيس من ركلة جاذبية تطلق الذنبات نحو الأرض ، فلابد أن تكون كتلته ٢٠/١ من كتلة الشمس، أما لو كانت كتلته ٣/١ كتلة الشمس لكان من الممكن رؤيته فعلاً، ولكان أكثر سطوعاً من بروكسيما سنتاورى ، ولكانت أقرب نقطة له منا معروفة، أما لو كانت كتلته أقل كثيراً من ٣/١ كتلة الشمس وبالتالي سيكون لمعانه خافتاً ، فإن نيميسيس سيصبح مجرد نجم خافت يشبه

الكثير من النجوم ذاتية اللمعان والأكثر بعداً، ولن تستطيع أجهزة المسح الفلكى أن ترصد اقترابه، وحتى ظهور نظرية نيميسيس لم يكن للفلكيين من الأسباب ما يدفعهم لإجراء القياسات الضرورية للكشف عن اقتراب النجوم الخافتة .

وحتى نقنع العالم (وأنفسنا) أن نيميسيس حقيقة واقعة لا بد من اكتشاف النجم نفسه ، والبحث عن نيميسيس تماماً كما يقول المثل "كالبحث عن إبرة فى كومة من القش". وقد قام الفلكيون بقياس المسافة إلى النجوم القريبة مستخدمين طريقة تعتمد على خاصية الاختلاف الظاهرى (Parallax) وحتى ندرك هذا المفهوم: ضع إصبعك أمامك وأغمض إحدى عينيك، لاحظ موضع إصبعك بالنسبة لشىء ما فى الخلفية مثل صورة معلقة على الحائط، ثم بدل إغماض عينيك : سيبدو إصبعك وكأنه يقفز ، فسيكون له موضع مختلف بالنسبة للخلفية الثابتة بمجرد تبادل إغماض العينين . هذا هو "الاختلاف الظاهرى". تابع الفلكيون أحد النجوم على فترات تراوحت بين ٣و٦ شهور ، وحددوا موضعه بدقة بالنسبة للنجوم الأخرى وبالذات بالنسبة للنجوم المعروفة ببعدها الشاسع ، وهم بذلك يراقبون النجم من مواضع مختلفة فى مدار الأرض حول الشمس، ويتغير مكان النجم القريب كثيراً بتغير موضع رصده من أماكن مختلفة من مدار الأرض حول الشمس، وحتى نكتشف نيميسيس علينا أن نرصد آلاف النجوم فى أوقات مختلفة من السنة ومقارنة صورها بدقة فائقة ، وباستخدام تلسكوب ذاتى الحركة لمسح السماء فوق النصف الشمالى للكرة الأرضية استبعدت مجموعة بيركلى أكثر من نصف النجوم المسماة بالأقزام الحمراء وعددها ٣١٠٠ نجم ، ومن الممكن اختبار حوالى ١٠ نجوم فى كل ليلة صافية، وسيتواصل البحث إلى أن تختبر كل النجوم أو يكتشف نيميسيس .

وقد لا يكون نيميسيس قزماً أحمر بالمرة، وربما يكون جسماً غريباً مثل ثقب أسود (Black Hole) أو نجم نيترونى (Neutron Star) أو قزم بنى (Brown Dwarf) ، وسوف يكون تأثير جاذبيته فى دفع المذنبات أثناء دورانه حول الشمس تماماً مثل القزم الأحمر . لكن اكتشافه سوف يكون أقرب إلى المستحيل ، وليس هناك من الأسباب ما يدفعنا إلى الاعتقاد بوجود مثل هذه الأجسام الغريبة فى هذا الجزء من مجرة درب اللبانة .

قد لا يكون نيميسيس موجوداً على الإطلاق وتصادماته ليست دورية ، وفى هذه الحالة هل من الممكن أن يحدث الفناء الشامل بسبب الكويكبات أو المذنبات ؟ يعتقد عالم الحياة القديمة "روب" فى إمكانية حدوث ذلك، وكما أشرنا سابقاً فإنه يعتقد أن الضربة الأولى لابد أن تنقص مدى الانتشار الجغرافى لنوع مزدهر من الكائنات قبل أن يصبح عرضة للانقراض ، ولا تتطلب أمطار المذنبات وجود نيميسيس ولا دورية اقترابه: فأى نجم عابر يمكن أن يسبب اضطراباً لمدارات كثير من المذنبات محدثاً أمطاراً مميتة .

وفيما يتعلق بالربط بين التصادمات والفناء الشامل ، فإن السجل الجيولوجى ليس واضحاً ، وقد وجد "روب" أن أربع طبقات فقط من سبع طبقات فاصلة غنية بالإيريديوم ترتبط بحوادث الفناء ، أما الباقى فموضع تساؤل ، وأن خمساً فقط من ١٤ حفرة من ذوات القطر ٣٢ كيلومتراً على الأقل وعمرها أقل من ٥٠٠ مليون سنة – تتوافق مع أزمنة حدوث الفناء (بما فى ذلك حفرة تشيكسلوب) ، وهذه المعلومات على الرغم من أنها مثيرة ، فإنها غير حاسمة ، وأعظم حادث فناء شامل على الإطلاق والذى وقع منذ ٢٤٥مليون سنة لا يرتبط بأى صدمة . أما كيف تفشل صدمة كبرى فى إحداث فناء فإنه أمر غير مفهوم، آخذين فى الاعتبار كمية الطاقة الهائلة المنطلقة والقائمة الطويلة من أهوال الغلاف الجوى المصاحبة للصدمة . ما هى الصدمة الكبرى ؟ نحن لا نعرف حد الطاقة الذى فوقه لابد أن يحدث فناء للكتلة، وإذا حاولنا التخمين فإننا قد نخطئ بمعدل ١٠– ١٠٠ مرة . فهناك كذلك متغيرات أخرى تؤثر فى الصدمة : نوع الصخر المصطدم بالأرض ، والذى سيحدد نوع سحابة الغبار وكثافة المطر الحمضى القاتل المرافق لها، وأكبر حفرة مخروطية معروفة وهى "تشيكسلوب" (١٧٠كيلومتراً) ترتبط بالقطع بالفناء الشامل، وبنفس الشكل ترتبط الحفرة المخروطية الثانية من حيث الاتساع والموجودة فى "كيوبيك" "بكندا" "مانيكواجان" (Manicoua-gan) (١٠٠ كيلومتر) بحادث فناء عظيم منذ ٢٠٨ ملايين سنة ، ويقع بين العصرين الثلاثى (Triassic) والجوراسى (Gurassic) . أما الحفر المخروطية التى لم ترتبط بعد بحوادث فناء فهى تلك التى يبلغ اتساعها ٥٠ كيلومتراً، فالطاقة اللازمة لتكوين هذه الحفر تقل عشر مرات عن الطاقة المسببة لحفرة تشيكسلوب على الأقل .

وإذا كانت نظرية نيميسيس صحيحة ، فأين نقف الآن فى دورة الفناء ؟ فأحدث فناء شامل وقع منذ ١٤ مليون سنة ، فإن كان المتسبب فى ذلك نيميسيس ، فذلك يعنى أنه لابد وأن يكون قد مر خلال سحابة " أورت" منذ حوالى ١٤ مليون سنة ، وهو الآن فى أبعد نقطة له عن الشمس ، ومقدر له أن يعود إلى هذه السحابة بعد حوالى ١٢ مليون سنة ، وحتى الآن فنحن فى مأمن من أخطار نيميسيس على الأقل ، ولا تدعى نظرية نيميسيس أن كل الصدمات الكبرى قد تسبب فيها طرد المذنبات بواسطة نيميسيس أو حتى بسبب المذنبات كلية ، فالبعض من هذه الصدمات قد يرجع إلى الكويكبات الحمراء، يجب ألا نأمن أكثر من اللازم ! لأننا كبشر ندين فى تطورنا الناجح لصدمة من هذه الصدمات، وربما تأتى نهايتنا يوماً ما على يد صدمة أخرى ، فما الذى يمكن أن نفعله لنحمى أنفسنا من هذا الاحتمال المخيف ؟

الفصل التاسع

حرس الفضاء

اهتمت وكالة "ناسا" باكتشاف الكويكبات القريبة من الأرض وجعلها تحيد عن مسار اصطدامها بالأرض، بعد أن أرجع ألفاريز فى سنة ١٩٨٠السبب فى حادث فناء K-T لصدمة كويكب. كثف الفلكيون جهودهم لاكتشاف المذنبات والكويكبات عابرة الأرض بنجاح كبير باستخدام تلسكوبات متوسطة الحجم، ومنذ سنة ١٩٨٠ تضاعف عدد الكويكبات عابرة الأرض مرتين ليصل إلى أكثر من ١٥٠ ، ويتسارع معدل اكتشافها، وبنهاية الثمانينيات تمكن صائدو الكويكبات من رصد العديد من الأجرام التى يصل حجمها إلى حجم الجبال ، وكادت تصطدم الأرض ، وفى سنة ١٩٩٠ كلف الكونجرس الأمريكى وكالة "ناسا" بمزيد من الدراسة ، ويرجع الفضل فى الحصول على مزيد من الصور المحسنة لأخطار الصدام ، إلى العمل الذى يقوم به عشرات العلماء فى جميع أنحاء العالم .

ومن الطبيعى أنه كلما كانت القذيفة أكبر وأسرع ، زادت خطورتها، وعادة لا يزيد حجم النيازك عن قبضة اليد، ولدى وصول هذه الكتل الصخرية والحديدية إلى سطح الأرض تقل سرعتها كثيراً عن سرعتها فى المجموعة الشمسية، والكتل التى تتكون غالباً من الحديد هى التى ترتطم محتفظة بمعظم سرعتها، ونادراً جدا ما ترتطم النيازك ، وفى مرات قليلة تسببت فى حوادث إصابات للناس، ونادراً ما تصل الأجرام ذات الأبعاد ما بين متر وعشرة أمتار إلى الأرض دون أن تتفتت ، وفى عام ١٩٧٢ ترك كويكب صغير قطره حوالى ١٠ أمتار مساراً ملتهباً بطول ١٥٠٠ كيلومتر فوق الغرب الأمريكى ، وكويكب كهذا له طاقة حركة مثل طاقة القنبلة النووية التى ألقيت على

هيروشيما، أى حوالى ١٣ ألف طن من TNT ، وقد تسبب انفجار جسم حديدى بمثل هذا الحجم فى إحداث حفرة صغيرة فى سيبريا سنة ١٩٤٧ ، وحيث إن معظم سطح الأرض ليس مأهولاً إلا فى النادر ، أو هو فى أغلبه سطح للمحيطات ؛ فإن غالبية هذه الكيلوات من الأطنان تنفجر دون أن نشعر بها .

أما المذنبات والكويكبات التى يتراوح حجمها ما بين ٥٠ ، ١٠٠ متر ، فإنها أخطر كثيراً ، مثل تلك التى تفجرت فوق تونجوسكا سنة ١٩٠٨ ، فطاقة حركة فى مدى عدة ميجا طن - مثل تلك المصاحبة لانفجار تونجوسكا - يمكن أن تسوى مدينة كبيرة بسطح الأرض وتقتل الكثير من البشر، لكن الدمار الناتج من حادثة مثل تونجوسكا سوف يكون محدوداً؛ حيث إن الناس يمكن أن يشاهدوها على مسافة ٥٠٠ كيلومتر ، ولكنها لن تهددهم بأى شكل. من الممكن أن نتوقع انفجاراً هوائيا بقوة ١٠ ميجا طن فى مكان ما على الأرض مرة كل ٣٠٠ سنة تقريباً، وفى المتوسط مرة كل ١٠٠٠٠٠ سنة سوف يقوم انفجار كهذا بإفناء منطقة مأهولة بكثافة (آخذين فى الاعتبار الكثافة الحالية للسكان) .

وفرصة الكويكبات التى تلى ذلك فى الكبر وقطرها يقارب الكيلومتر - فى أن تخترق الغلاف الجوى دون أن تتفتت جيدة ، أما تلك التى يزيد قطرها عن ١٥٠ متراً فإنها تصطدم بالأرض مرة كل خمسة آلاف سنة ، وإذا كانت الصدمة فوق اليابسة فإنها ستحدث حفرة مخروطية قطرها يزيد عن كيلومترين ، أما التى تضرب المحيط فتتسبب فى موجات التسونامى، وأحداث بهذا الحجم أقل تدميراً من الانفجار الهوائى فوق تونجوسكا؛ حيث إن معظم طاقة الصدمة تمتص بواسطة اليابسة أو المحيط، ومع ذلك فإن كويكبًا قطره حوالى كيلومتر يستطيع أن يدمر منطقة مساحتها عشرات الآلاف من الكيلومترات المربعة ، فإذا كانت بؤرة الصدمة على الأرض فى تجمع سكانى كنيويورك أو جنوب كاليفورنيا أو طوكيو أو منطقة المدن الكبرى ؛ فإن عدد القتلى قد يزيد عن ١٠ ملايين، ومع ذلك لن تصبح البشرية كلها مهددة .

أما الكويكبات أو المذنبات الأكبر من كيلومتر ، والتى ترتطم باليابسة مرة كل نصف مليون سنة ؛ فإن تأثيرها سيكون شاملاً عالميا (global) وقد يهدد الغبار الناتج

عن تلك الصدمة معظم سكان العالم بالتضور جوعاً بسبب التلف الجماعى للمحاصيل، ولا يستطيع أحد أن يجزم إلى أى مدى يمكن للدول والمؤسسات أن تنجو من مثل هذه الكارثة الأرضية .

ورغما عن ذلك ، ومهما بلغت حدة الكارثة العالمية المهددة للحضارة ؛ فإن حادثة كهذه ستقضى على عدد قليل من الأنواع، ومرة كل ١٠ أو ٣٠ مليون سنة يرتطم كويكب أو مذنب قطره يزيد عن خمسة كيلومترات بالأرض، ومرة كل ١٠٠ مليون سنة تعانى من صدمة بجسم قطره ١٠ كيلومترات أو أكبر، ومن صدمات بهذا الحجم سوف يعانى كوكبنا ليس فقط من حادثة فناء، ولكن فناء عظيماً شاملاً مثل الحوادث الخمس الكبرى المعروفة جيداً لعلماء الحياة القديمة، وربما يكون الاصطدام بأكبر الأجسام المعروفة التى تقترب من الأرض هو الفزع الأكبر، وكما رأينا فإن مذنب هالى له نواة قطرها الأكبر ١٥ كيلومتراً، أما أكبر الكويكبات عابرة الأرض المعروفة فقطرها يقل عن ذلك قليلاً، لكن من المحتمل أن تكون مادتها أكثف عدة مرات ، ولذلك فهى أثقل ، ولا نستطيع أن نستبعد تماماً الظهور المفاجئ لمذنب طويل الدورة أكبر بعض الشىء من مذنب هالى فى مسار اصطدام مع الأرض .

لعله من المثير ألا تعير مخاطر سيناريوهات الكوارث المذكورة أعلاه اهتماماً لسبب بسيط : وهو أنه لا يوجد فى تاريخنا أى تسجيل لتصادم قاتل ، ولم نشاهد على التليفزيون حتى الآن ضحايا صدمة كويكب لنتعاطف معهم ، فالعواصف والفيضانات والزلازل والحروب والتصفية العرقية والأوبئة تبدو أكثر واقعية لنا، وتقضى حوادث السيارات والتصفية الجسدية وحدهما على عشرات الآلاف من الأمريكيين كل عام ، أضف إلى ذلك ما تسببه الأمراض مثل السرطان والأزمات القلبية ، فهل يجب علينا أن نقلق من جهة النيازك كذلك ؟ فنحن قلقون بسبب مخاطرٍ أقل كالصواعق والموت فى حوادث الطائرات والاحتراق بالنيران أو الموت بلدغة ثعبان سام أو من طعام مسمم .

كيف لنا أن نحسب معدل الوفيات من التصادم بمذنب أو كويكب مقارنة بالمعدل الخاص بالمخاطر المألوفة ؟ قام " دافيد موريسون " (David Morrison) ومعاونوه من مركز " Ames " أميس " للأبحاث التابع لوكالة ناسا - بإجراء وتعميم حسابات تفصيلية

فى هذا الشأن ووفقًا لذلك فإن احتمال الموت من تصادم مثل الذى حدث فى تونجوسكا هو واحد فى كل ٣٠ مليون (فى السنة) ومن صدمة عالمية كارثية هو واحد فى كل مليونين (فى السنة) ، وبمعنى آخر فإننا نحسب متوسط عدد الوفيات سنويا التى تسببها الصدمات، فعلى فترات طويلة من الزمن - آخذين فى الاعتبار كل أحجام الحوادث - يصبح من المتوقع أن يموت سنويا حوالى ٣٠٠٠ إنسان من ضربات الكويكبات أو المذنبات (وتزداد الوفيات فى بعض السنين ولكن نادراً أو نادراً جداً ما تصل إلى ملايين أو بلايين). وفى الولايات المتحدة الأمريكية يبلغ متوسط أعداد الوفيات بفعل التورنادو (العواصف الدوامية) أكثر من ١٥٠، وأكثر منها يقتل بسبب الصواعق أو لدغات الأفاعى أو التسمم الغذائى، ويموت حوالى ١٥٠ من الأمريكيين فى حوادث الطيران التجارى، ونفس العدد يموت صعقًا بالكهرباء فى البيوت .

وتنفق الحكومة الأمريكية عدة ملايين من الدولارات فى رصد ومتابعة العواصف العنيفة وفى حماية الأغذية من التلف وتأمين السفر بالطائرات ، ألا يجب إذن أن ننظر إلى أخطار الصدمات بصورة أعمق ؟ قد تبدو فرصة وقوع كارثة اليوم أو غداً أو حتى خلال القرون القليلة القادمة ضئيلة، لكن ليس هناك تهديد مماثل يمكن أن يقضى على العالم كما نعرفه اليوم إلا حرباً نووية .

وتتطلب حماية مواطنى كوكب الأرض من الصدمات الكونية مجهوداً متشعباً فى ثلاثة اتجاهات : الأول : هو مسح السماوات واكتشاف أكبر عدد ممكن من الكويكبات والمذنبات التى تقترب من الأرض ، والثانى : هو تطوير المقدرة على الرصد الدقيق لأى جسم يمكن أن يهدد الأرض بأى شكل حتى نعلم تمامًا متى وأين سيقوم بضربته، والثالث : إذا كنا نأمل فى منع حدوث الصدام كلية بدلاً من تهجير السكان من منطقة الصدمة المتوقعة، فإن علينا أن نطور وسائل لقطع الطريق على القذيفة الكونية القادمة نحونا وتغيير مسارها بعيداً، ومع أن كل هذا يبدو وكأنه خيال علمى، إلا أن التقنية الموجودة الآن قد تكون مواتية للتقليل من مخاطر الصدمة إلى حد كبير .

و٩٠٪ من المقذوفات التى قد تزعج كوكبنا هى كويكبات قريبة من الأرض أو مذنبات قصيرة الدورة ، أما الباقى فهى مذنبات طويلة الدورة تعود على فترات أكبر

من ٢٠ سنة ، وقد أحصى فلكيو الكواكب أن حوالى ألفين من الكويكبات عابرات الأرض لها قطر أكبر من كيلومتر ، ولا يوجد ضمن الكويكبات عابرات الأرض والتى يصل عددها إلى أكثر من ١٣٠ (من المصنفة حتى الآن) كويكب واحد له مدار يؤدى إلى تصادم مع الأرض فى غضون القرون القليلة القادمة ، لكن اقتراب أى منها من أى كوكب مثل المشترى يمكن أن يؤدى إلى اضطراب مدارها الآمن ويحوله إلى مدار قاتل ، ومن الصعب اكتشاف الكويكبات عابرات الأرض طويلة الدورة، ويرجع ذلك أساساً إلى مقدرتها الضعيفة على عكس ضوء الشمس مما يجعلها خافتة جدا، وقد يكون بعض هذه القميرات المظلمة فى مسار خطير، فإذا حدث واكتشفنا واحداً منها فإن الأمر يتطلب عشرات السنين لنتمكن من اتخاذ إجراء معها، وبواسطة التقنيات الحالية يكتشف الفلكيون العديد من الكويكبات عابرة الأرض كل شهر، ويستخدم نظام مراقبة الفضاء بجامعة أريزونا تلسكوباً عريض المدى ٠.٩ متراً مزوداً بكاميرا إلكترونية ماسحة لاكتشاف الكويكبات فى وقت مناسب، ونظراً للاستخدام الواسع للأشعة والبرمجيات المتقدمة ، فإن نظام مراقبة الفضاء يشترك فى كثير مع التلسكوبات الروبوتية المستخدمة لاكتشاف المستعرات العظمى البعيدة ، وعموماً يتميز جهاز مراقبة الفضاء بمقدرته على العمل بصفة دائمة بدلاً من القياسات المعتمدة على أزمنة التعرض المتقطعة، وحتى الآن استطاع جهاز مراقبة الفضاء من رصد حوالى نصف الأجسام القريبة من الأرض بما فى ذلك البعض الذى قد يقل قطره إلى ٩٠ أمتار، ولكن وحتى نستوعب تمامًا مسلك الكويكبات والمذنبات قصيرة الدورة المسببة للمخاطر للأرض ؛ فإن الأمر يحتاج إلى أجهزة اختبار أكثر دقة، ومن الممكن أن تساعد التلسكوبات ذات النافذ الأكبر فى اكتشاف الأجسام الأعتم والأكثر بعداً ، وتخطط مجموعة مراقبة الفضاء لمضاعفة حجم تلسكوباتها وزيادة مدى نظام الاختبار الإلكترونى، ولكن حتى نجد الغالبية من آلاف الأجسام عابرة الأرض الكبيرة خلال العقود القليلة القادمة بدلاً من قرون - فإن الأمر يتطلب برنامجًا أكثر طموحًا من ذلك، وتدرس وكالة ناسا الآن اقتراحاً لبناء ستة تلسكوبات كبيرة أو أكثر خصيصاً لمسح السماء كلها ، بحيث إنه إذا أعاقت سحابة كبيرة الرؤية أمام أحد التلسكوبات فإن تلسكوباً آخر سيقوم بالعمل بدلاً منه، ومثل هذا النظام المقترح لمراقبة الفضاء ، قد يتمكن من

اكتشاف حوالي ٥٠٠ جسم قريب من الأرض ومئات الآلاف من الكويكبات في حزام الكويكبات الرئيسي كل شهر .

وعند اكتشاف جرم قصير الدورة فسوف يكون هناك فسحة من الوقت لمشاهدة دورانه لعدة مرات حول الشمس ، مما يمكن من تنقيح الحسابات المدارية والتفكير في كيفية التصرف مع ارتطامه المحتمل، وعلى النقيض فلن نتمكن من ذلك في حالة الجرم طويل الدورة ، وتظهر المذنبات طويلة الدورة غير المعروفة مسبقًا بصورة غير متوقعة في الجزء الخارجي المعتم للنظام الكوكبي على شكل صفوف متجهة نحونا، وحيث إنها على الأرجح تدور حول الشمس في اتجاه معاكس لدوران الأرض ؛ فإن سرعة الصدمات المحتملة لها أكبر من تلك الخاصة بالقذائف قصيرة الدورة ، وأحجامها الكبيرة عادة (٤ كيلومترات أو أكثر) تجعلها أكثر خطورة ، ولا يمكن رؤية هذه المذنبات إلا بعد أن تقوم حرارة الشمس بتبخير جليدها المتجمد منذ فترة طويلة، وعادة ما يحدث ذلك بالقرب من مدار المشترى، وعندها تحتاج إلى عام كامل تقريباً من التسارع قبل أن تبدأ الدوران حول الشمس أو تصطدم بأحد الكواكب ، وهو أمر نادر، وتصف المذنبات طويلة الدورة هي بالفعل من عابرات الأرض، أي أنها تقترب من الشمس على مسافة أقصر من وحدة فلكية (AU) ، وإذا كنا سيئي الحظ للغاية ، فإننا لن نكتشف مذنبًا جديداً في مسار ارتطام بالأرض إلا قبل حدوث الصدمة القاتلة بشهرين فقط، ويمنحنا نظام حراسة الفضاء الذي يغطي كامل السماء ويؤمن مجال الرؤية في حالة الليالي المعتمة – فرصة أفضل بكثير لاكتشاف مبكر لمذنب خطر أثناء سقوطه داخل المجموعة الشمسية .

ويعد استخدام التلسكوبات الضوئية فقط لتعيين مدار مذنب أو كوكب بعيد، بدقة كافية تسمح بتحديد موقع وزمان الصدمة مع الأرض بالضبط– أمراً صعبًا إن لم يكن مستحيلاً، ولحسن الحظ يمتلك الفلكيون أداة قوية لرصد ومتابعة مثل هذه الأجسام بمجرد اكتشافها – الرادار، وتكون التلسكوبات الراديوية الموجودة في أرسيبو (Arecibo) وبورتوريكو (Puerto Rico) وجولد ستون (Goldstone) وكاليفورنيا – رادارًا كوكبيا متميزاً من الممكن أن يبين لنا حجم وشكل ومعالم سطح أي غاز للأرض، وربما نكتشف حتى دورانه، ويمكن أن تحدد مساره بدرجة عالية من الدقة ، وعندئذ ستتمكن الحاسبات من التحكم في سفينة فضاء معترضة قريبة إلى حد ما من الجسم ،

بحيث تستطيع أجهزة الاستشعار في السفينة توجيهها نحو الهدف الموجود، تماماً كما يحدث في الصواريخ الموجهة من الطائرات أو السفن أثناء اقترابها من الهدف ، والتقنية الحالية عالية التطور فيما يتعلق بالصواريخ الموجهة ومجسات الفضاء بين الكواكب ، لدرجة أن مهمة مثل هذه تبدو كخطوة صغيرة بالنسبة لإمكاناتنا .

وفي إحدى خطط وكالة ناسا هناك على الأقل بعثتان من سفن الفضاء قد يُرسلان لاعتراض قذيفة كونية قادمة نحو الأرض، وستكون مهمة البعثة الأولى الاستطلاع فقط، وقد تتمكن سفينة الفضاء الصغيرة من أن تلحق بحرية بجرم من عابرات الأرض لتلتقي به ، وربما تستطيع الهبوط على سطحه، أما السفينة الثانية فستكون على الأرجح أكبر ومسلحة بمتفجرات نووية بغرض تحويل مسار القذيفة الفضائية أو نسفها، وحتى يتمكن القادة من اتخاذ استراتيجية معينة ، فإنهم يحتاجون إلى معرفة مكونات الكويكب أو المذنب ، وهل سيتفتت بسهولة ؟ فإذا كان مذنبًا ، فهل يستطيع انفجار صغير أن يولد تيارات قوية من غازات المذنب؟ وهذه التيارات القوية متقطعة في طبيعتها لكنها قد تغير كثيراً من مسارات المذنبات، والاكتشاف المبكر لهذه الأجسام من الأمور الضرورية؛ فمن السهل كثيراً التدخل لتغيير مسار جرم يقترب للاصطدام بالأرض وهو على مسافة بعيدة عنها، حيث لا يتطلب الأمر إلا تغييراً صغيراً في سرعة الجسم وإلى طاقة أقل كثيراً، وأفضل مكان لركل كويكب هو عندما يكون في أقرب نقطة له من الشمس (بيرهيليون)، وتؤدي دفعة صغيرة إلى تغيُّر أكبر في الوضع لا يتضح إلا عندما يقترب الجسم من الأرض بعد أشهر أو سنوات. فالتدخل بتغيير سرعة كويكب معروف مداره بدقة، بمقدار ١سم في الثانية فقط وهو على الجانب الآخر من الشمس، يكفي لتحويل صدمة محتملة إلى مجرد مرور عابر.

وفي ضوء التقنيات المتاحة حاليًا ، فإن الوسيلة الوحيدة لركل مذنب أو كويكب بشدة هي إرسال سفينة فضاء، مزودة بوقود صلب وحاملة متفجرات قوية، وسيكون على سفينة الاعتراض المذكورة في حالة الكويكبات الكبرى أن تقوم بتوصيل قنبلة نووية كبيرة إلى سطح الكويكب ، أو تدفن شحنة تحت سطح الكويكب أو تفجر رأسا حربيا على مسافة معينة منه. أما بالنسبة للكويكبات الأصغر – الأقل من ١٠٠ متر – فيمكن التعامل معها بالمتفجرات التقليدية (غير النووية) من مسافة كبيرة، وتعمل كل هذه

الطرق على نسف جزء من سطح الكويكب المهدد، وسيعمل رد الفعل على إخراجه من مساره، وقد يؤدى انفجار على السطح إلى تغيير أكبر من انفجار على مسافة من الجرم، أما بالنسبة للاعتراض القريب من الأرض والذى يتطلب انفجاراً كبيراً : فإن ذلك قد يؤدى إلى تفتت الجسم المندفع إلى شظايا كثيرة ، وقد تظل بعض هذه الشظايا فى مسار تصادم مع الأرض ويكون بعضها من الكبر بحيث يحدث كارثة عالمية، وسيحتاج الأمر إلى مصادر دعم كبيرة للتعامل مع هذه الاحتمالات، وربما يكون دفن المتفجرات أكثر كفاءة من التفجيرات السطحية ، إلا أنه أكثر خطورة ، وقد تؤدى الانفجارات عن بعد إلى حيود أقل ، لكن يمكن التنبؤ بنتائجه بدقة أكبر، لأن فرصة تفتت الكويكب أو المذنب فى هذه الحالة أقل بكثير، وفى حالة المذنبات سوف يكون أصعب كثيراً تنفيذ انفجار محسوب العواقب : حيث تصعب رؤية نواته ، ولأن تيارات الغازات المندفعة منه قد تحدث تغيراً مذهلاً فى مداره .

فى أكتوبر سنة ١٩٩٣م قام فلكى من هارفارد اسمه بريان مارسدن (Brian Marsden) بدق ناقوس الإنذار محذراً من مذنب دورى معروف باسم سويفت تاتل (Swift Tutle) وقد اكتشف هذا المذنب أحد المبشرين اليسوعيين ، وهو ثقيل الوزن قطره أكبر من عشرة كيلومترات ، قام بدورتين داخل الجزء الداخلى من المجموعة الشمسية فى عامى ١٨٦٢، ١٩٩٢ ، وقد حسب "مارسدن" فرصة ارتطام "سويفت تاتل" بالأرض أثناء ظهوره القادم فى أغسطس سنة ٢١٢٦ كواحد فى ١٠٠٠٠، لأن تيارات الغاز المندفعة على سطحه يمكن أن تغير من مساره بشكل غير متوقع، ويشير تحليل مدار المذنب منذ سنة ١٧٣٧ إلى أن تيارات الغاز المندفعة لا تلعب إلا دوراً صغيراً حتى الآن، وقد قام دونالد يومانس (Danald Yeomans) من معهد كالفورنيا للتقنية ومختبر الدفع النفاث بوكالة ناسا- بحساب أقرب مسافة سوف يصل إليها "سويفت تاتل" فى ٥ أغسطس سنة ٢١٢٦ فوجدها ١٤ مليون ميل .

وحتى إذا لم يكن أمامنا سوى بضعة أسابيع من التحذير المبكر ، فإن قوة انفجار نووى كاف قد تدفع المذنب أو الكويكب بعيداً عن مسار التصادم، وعليه سوف يحول إصابة الأرض ، وبالنسبة لمذنب كبير وسريع ، والذى يحتمل أن يصطدم لدى أول ظهور له فى المجموعة الشمسية : فإن سلسلة من التفجيرات قد تكون ضرورية

لإحداث تفجير مهول فى عمقه ، وإذا كان التحذير مبكراً أكثر من ذلك ، فإن الوقت سوف يتسع لإحداث ركلة للجسم ثم النظر فى مداره الجديد وإعطائه ركلة أخرى إذا لزم الأمر، ثم ننتظر فى مداره وهكذا، ويمكن لهذه الاستراتيجية أن تقلل من الطاقة اللازمة لإحداث حيود متتالية ، وعليه تستخدم سفينة فضاء اعتراضية أصغر. والعشرات من السنين تناول مهندسو الصواريخ الحديث عن صنع صواريخ نووية ، وتفضل مثل هذه الصواريخ الأخف وزناً عن كثير من الصواريخ العملاقة المزودة بالوقود الكيميائى – فإنها سوف تكون سفن اعتراض ممتازة ، ولكن التكاليف سوف تكون باهظة ، والزمن اللازم سوف يكون طويلاً .

وهناك اتجاه آخر (يفضله المعترضون على استخدام الطاقة النووية) يقترح إيصال محرك صاروخى كبير إلى سطح الكويكب المقدر له الاصطدام ثم إشعاله، فإذا تمكنا من توصيل هذا المحرك مبكراً بما فيه الكفاية فسيجنبنا الحاجة إلى الأسلحة النووية ، ولأن إنتاج الطاقة النووية يفوق إنتاج الطاقة العادية من الوقود مليون مرة لكل كيلو جرام : فإننا قد نلجأ إليها إذا تعرضنا لخطر حقيقى، ومن دواعى السخرية أن يقول علماء "ناسا" و "لوس ألاموس" أن المصادر الوحيدة للطاقة التى قد تجنبنا مصير الديناصورات هى نفس المصادر التى أوصلتنا إلى حافة الهاوية أثناء الحرب الباردة .

ويدور الجدل فى أوساط خبراء الاعتراض فيما يتعلق بالحاجة إلى الاستعداد لتهديدات صغار الكويكبات من صنف "تونجوسكا" ، وحيث إن هذه الكويكبات أكثر احتمالاً من غيرها فى الارتطام بنا وأسهل فى تغيير مسارها : فإن البعض يدعو لأن نشحذ خبرتنا فى دراستها ، وقد تؤدى ضربة كويكب قطره ١٠٠ متر فى موقع مأهول بالسكان إلى درجة من الهلاك تجعل من تطوير تقنية تغيير مسارات تلك الكويكبات أمراً يستحق الاهتمام مهما كان الثمن، وحيث إن معدل تصادم هذه الأجسام بنا هو واحد (أو أكثر) خلال عمر الإنسان (تقريباً كل ٧٠ سنة) فليس علينا أن ننتظر قروناً لنكتشف ما إذا كان الاعتراض وتحريف المسار مفيدين فعلاً، وإذا اتجه كويكب صغير قطره يصل إلى ٧٠ متراً نحو مدينة ما ، فإن إجهاض هذا التصادم ودفع المسار نحو المحيط يمكن أن يتحققا دون متفجرات كلية ، فبمجرد التصادم مع سفينة فضاء كبيرة اعتراضية تدفعه لـ ... عن مساره، ولسوء الحظ لا يستطيع جهاز حرس الفضاء

اكتشاف صغار الكويكبات إلا قبل أسابيع (أو أقل) من وصولها إلى الأرض، وذلك يعنى أننا يجب أن نحتفظ بسفن الاعتراض فى حالة استعداد تام دائمًا ، وهذه عملية مكلفة .

ويذكر كلارك تشابمان (Clark Chapman) ودافيد موريسون (David Morrison) وآخرون – أن علينا أن نوجه دفاعاتنا نحو الكويكبات والمذنبات المدمرة للحضارة والتى يبلغ قطرها كيلومترًا أو أكثر فقط . سيكون أمامنا سنوات قبل توقع حدوث الارتطام بكويكب قاتل، لذلك فلا حاجة إلى تجهيز دفاعاتنا حتى نتأكد من أن الصدمة واقعة لا محالة، ويتجاهل هذا الجدل التهديد الناتج عن مذنب قاتل طويل الدورة والذى لا يسبقه إلا تحذير قصير، وينحاز علماء معامل "لوس آلاموس" "ليفرمور القومى" إلى جانب إجراء تجارب فضائية مبكرة ، ومن الجدير بالذكر أن هذه المعامل قد تركزت فيها أبحاث برنامج حرب النجوم المسمى المبادرة الدفاعية الاستراتيجية، وعلى النقيض فإن الأكاديميين يرغبون فى تشجيع استراتيجية الاكتشاف وترك أعمال الدفاع جانبًا إلى أن تحل المشاكل التقنية، ومن الجائز أن يكون لكل جانب دوافعه الشخصية بالدرجة الأولى، ويفضل محاربو الفضاء التوجه نحو الحرب فى الفضاء حتى لو كان الأعداء هم الصخور القاتلة وليس الصواريخ السوفيتية، بينما يود الفلكيون أن يتم الإنفاق بصورة أكثر على التلسكوبات .

وقد يبدو أن متابعة الأجسام عابرات الأرض لمجرد حماية الأرواح فقط هو استثمار مشكوك فيه، فهناك أخطار كثيرة أخرى على حياة البشر (الفقر والمرض والحروب) يتكلف منعها تكاليف أقل ، فيتكلف جهاز الإنذار المبكر فى نظام حراسة الفضاء (ستة تلسكوبات ٢ متر) يتكلف حوالى ٥٠ مليون دولار لمجرد أن يبدأ ، و ١٠ مليون دولار سنويًا مصاريف تشغيله، ويدعى مؤيدو هذا النظام أنه سيقلل من مخاطر الصدمات المجهولة والفجائية إلى النصف خلال عقد واحد من الزمن، وسيقللها إلى الربع خلال عقدين أو ثلاثة، فبمجرد اكتشاف مذنب مغير سوف يمنحنا الفرصة للتقليل من آثاره المدمرة بشكل كبير ، حتى ولو لم نحاول أن نقاومه .

ومن جهة أخرى ، فإن برنامج حرس الفضاء ، قد يأخذ شرعيته من أسباب علمية بحتة ، ويمكن أن يعطى دفعة كبيرة فى معرفة الكويكبات والمذنبات ، وبالتالى فى معرفة تاريخ المجموعة الشمسية ، فإذا اكتشف جسمًا قادمًا يقترب من الأرض بسرعة فى

مسار تصادم فسيكون أمامنا عدة خيارات، فإذا لم يكن لنا مقدرة على تغيير مساره وكان الجسم صغيرًا نسبيا ؛ فإنه يمكن التخطيط للتهجير الجماعى من موقع الصدمة، وعلى الأرجح فإن هذه الخطة قد تتطلب عدة سنوات لتنفيذها ، وفيما يتعلق بالمذنبات طويلة المدى ، فإن الإنذار قد يأتى قبل عام، وفى النهاية إذا كان الجسم كبيرًا لدرجة أنه يمكن أن يهدد بكارثة عالمية، ولكن إذا جاء التحذير سابقًا بعشرات السنين؛ فقد يكون هناك فرصة لتطوير واختيار تقنية الاعتراض وتغيير المسار قبل الصدام المحتمل، أما إذا ظهر مذنب طويل الدورة فى مسار تصادم مع الأرض ، فإننا قد لا نملك الوقت الكافى لتطوير القدرات التى ذكرناها . فهل لنا أن نطورها من الآن ؟

ولا يبدو صحيحًا من وجهة نظر المطلعين على الأمور أن ننفق الكثير من الجهد والمال على الأسلحة النووية وما يرتبط بها من أبحاث الآن ، وبعد أن فترت الحرب الباردة ، فقد أهدرت البلايين الكثيرة من الدولارات على أبحاث حرب النجوم خلال الثمانينيات، ومن العدل أن نتساءل : هل نأخذ مسلكًا مماثلاً الآن ؟ وتبدو المعامل الوطنية قادرة على التحول الناجح إلى البحوث السلمية فى عصر ما بعد الحرب الباردة ، مع التأكيد على أن التفجيرات النووية قد تجهض هذا التحول

وقد أبدى كارل ساجان تخوفه من أن نفس التقنية التى تستخدم لتغيير مسار كويكب متشابك من الارتطام بالأرض هى نفسها قد تستخدم بشكل غير مسئول لتحويل مسار كويكب مسالم إلى مسار تصادم ، وقد تساءل "ساجان" : هل نود فى الحقيقة أن نطور تقنية من الممكن أن تسبب كارثة عالمية ؟ وكتب : هل يمكن أن تكون يدى البشر موضع ثقة تجاه تقنيات مهددة للحضارة ؟ واحتمال حدوث كارثة عالمية هى أقل من فرصة واحدة فى الألف فى كل قرن، مما يجعل وقوع مقدرة التحكم فى الكويكبات فى يد إنسان مجنون خلال المائة عام القادمة أمرًا غير محتمل، وفى الوقت الحالى تمتلك دولتان فقط هما الولايات المتحدة وروسيا من الأسلحة النووية ما يمكن أن يطلق العنان لموت مطلق ، ويمكن أن يقدم التحكم فى الكويكبات مثل هذه المقدرة (مقدرة تحقيق الموت المطلق) إلى الكثير من الأمم والرجال المجانين بتكاليف زهيدة .

ويبدو لمؤلفي هذا الكتاب أن حل المشكلة التقنية المتعلقة بتغيير مسار الكويكبات والمذنبات يحتاج إلى جهود مضنية باهظة التكاليف ، وسوف تكون أكثر صعوبة وتكلفة حتى من إنشاء قوة نووية كافية لسحق مدينة ما ، وبالرغم من الهدوء الحالي في الموقف النووى ، فإننا ما زلنا على حافة كارثة عالمية ، وسنظل كذلك إلى أن نقوم بتدمير كل الأسلحة النووية .

الفصل العاشر

التصادمات والتطور

فى يوم ما كان يعيش على الأرض أكثر من ستين نوعاً من الديناصورات، الكبيرة والصغيرة، آكلي الأعشاب واللحوم، ولقد استخرج علماء الحياة القديمة من باطن الأرض بقايا أكثر من خمسة آلاف فرد ، بدءاً بالصغار في عشهم إلى هياكل كاملة لتلك التيرانوصورات (Tyrannosaurus) وعظام آكل نباتات طوله ١٢٠ قدماً يسمى الألتراصور (Ultrasourus) ، ولقد كان شكل الجسم ووظيفته فى الديناصورات متنوعاً كما فى الثدييات الحديثة، ومثلها تماماً فى القدرة على البقاء ، وكان لبعضها رقاب طويلة بشكل غير عادى ورؤوس متناهية الصغر، وكان للبعض منقار يشبه منقار البط وأسنان حادة، وآخرون كان لهم ألواح عظمية وذيول لها نتوءات ، وكان للبعض الآخر مخالب مقوسة ورؤوس ضخمة وأسنان فى حجم الخناجر، وأياً كان شكلها فقد عاشت الديناصورات فى كل مكان على الأرض تقريباً حتى فيما يعرف الآن بألاسكا، وامتد عصرها لما يزيد عن ١٥٠ مليون سنة .

لقد أنهى فيلم "الحديقة الجوراسية" (Jurassic Park) أخيراً الخرافة الذائعة عن أن الديناصورات كانت كائنات كبيرة فوق العادة ، وخرقاء غير قادرة على التأقلم والبقاء ، وقد لاحظ المتخصصون أن بعض الأنواع المفترسة كانت تستطيع الركض بسرعة لمسافات بعيدة ، وذلك بدراسة اتساع المسافة بين آثار أقدامها؛ لذلك ولأسباب أخرى انتهى المتخصصون إلى أن هذه المخلوقات التى تركت مثل هذا الأثر كانت من ذات الدم الحار ، ونشطة مثل الحيوانات المفترسة الحديثة، وقد تجاوز صناع فيلم "الحديقة الجوراسية" الأبحاث الجارية ، وصوروا تلك الحيوانات المفترسة ليس كحيوانات نشطة

فقط ، بل فى مهارة الشياطين، وليس من الضرورى أن تكون الديناصورات فى مثل ذكائنا حتى نتقبل فكرة أن فناءها منذ ٦٥ مليون سنة لم يكن نتيجة خطأ فيها نفسها ، أو لأنها لم تكن متوائمة ، أو كانت مستهلكة وراثيا كما تقول النظريات السابقة، والحيوانات المفترسة الكبيرة الحالية مثل الأسود والذئاب والدببة يمكن أن تفنى كذلك إذا انهارت السلسة الغذائية التى تمدها بالغذاء .

ومن أهم الأمور التى ترتبت على فكرة الصدمة العظمى (Bang) التى تدمر الأرض، هو التغير الجذرى التى صنعته هذه الصدمة لفهمنا للتطور، وتعد فكرة تغير الأنواع تدريجيا عن طريق الانتخاب الطبيعى ، والتى يطلق عليها " البقاء للأصلح " - هى حجر الزاوية فى نظرية التطور التى توصل إليها " تشارلز داروين" سنة ١٨٥٨ و(والاس A.R. Wallace متفرداً)، فهناك اختلافات طفيفة لا تحصى بين الأفراد ، بعضها يمكن أن يُورث، والأفراد التى تجعلهم اختلافاتهم أكثر مواءمة لبيئتهم عن غيرهم ، مثل من يستطيعون الصيد أفضل ، أو يكتشفون عشباً أكثر ليأكلوه ، أو يتمكنون من السباحة أسرع بعيداً عن أعدائهم - سوف يتمكنون من النجاة والبقاء لإنجاب ذرية أكبر، وسينقلون صفاتهم للأجيال التالية بكفاءة أكبر عن المنافسين الآخرين الذين هم أقل مواءمة، وتزداد بالتدريج نسبة الأفراد الذين لهم صفات مفيدة، بينما تقل بالتدريج نسبة من لهم صفات ضارة ، وبمرور وقت طويل سوف يسمح هذا الانتخاب الطبيعى للأنواع أن تغير من مظهرها ومن وظائفها، وأهم ما يجعل هذه النظرية باقية هو أن الأنواع تستطيع أن تتأقلم تجاه التغيرات فى بيئتها إذا كانت هذه التغيرات ليست كبيرة ولا تحدث فجأة .

وخلال القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين تمكن علماء البيولوجيا والحياة القديمة والجيولوجيا، بما فيهم "داروين" نفسه، من اكتشاف جسم هائل لحفرية ، واكتشفوا معه دليلاً جيولوجيا يدعم نظرية التطور، وقد بينوا أن هناك أنواعًا كثيرة لا تعيش اليوم لكنها كانت موجودة يومًا ما، وأن الحياة قد تغيرت بشكل كبير على مدار ملايين السنين، فعلى سبيل المثال استطاع علماء الحياة القديمة اقتفاء أثر تطور الحصان على مدى ٥٠ مليون سنة من مخلوق فى حجم الكلب " هيراكوثيرم "

(Hyracotherium) إلى "إيكيوس" (Equus) الحديث ، ومع تطور تقنية النظائر المشعة خلال القرن العشرين والطرق الأخرى للتأريخ، تحسنت معرفتنا للحياة القديمة بشكل هائل .

وبالرغم من أن معظم العلماء قد تقبلوا حقيقة التطور ، فإن داروين لم يتمكن من إقناعهم بدور الانتخاب الطبيعى، وكانت محاولات داروين لإقناعهم تعوقها عدم معرفته بكيفية عمل الوراثة، وفى سنة ١٨٦٥ اكتشف "جريجور مندل" (Gregor Men del) قوانين الوراثة ونشرها، وهى القوانين التى تشرح كيف تنتقل الصفات من جيل إلى جيل، ولسوء الحظ لم يكن العالم مستعداً لاكتشافات مندل التى أهملت بعد ذلك حتى سنة ١٩٠٠ ، وحتى داروين نفسه لم يتفهم مغزى تجارب مندل على تكاثر البازلاء، والتى كان من الممكن أن تزيد الانتخاب الطبيعى وضوحًا ، وبحلول الأربعينيات من القرن الحالى ربط علماء البيولوجيا بين الوراثة والتطور، وباكتشاف الدنا (DNA) فى الخمسينيات والنمو الهائل للبيولوجيا الجزيئية : اتضحت أكثر الكيفية التى تنشأ بها التغيرات داخل الخلية لتسمح للتطور بالحدوث .

ولم يتفق العلماء المبرزون فيما بينهم حول تفاصيل كيفية حدوث التطور، وحتى عهد قريب ظلت نظرتنا الشاملة للانتخاب الطبيعى كعملية تدريجية كما هى منذ أيام داروين، وحتى نفهم بالضبط كيف غيرت الصدمة العظمى المتسببة فى الفناء الشامل الصورة، فإن علينا أن نبحث أكثر من ذلك فى آليات الانتخاب الطبيعى .

وتأتى معظم الاختلافات فى الكائنات التى تتكاثر جنسيا، من عدد لا نهائى تقريبا من التزاوجات الجينية المتوارثة من الوالدين (الجين هو كتلة من جزيئات دنا(DNA) التى تحدد خواص معينة) ويعمل الانتخاب الطبيعى على الاختلافات بين الصفات فينفى أو يستبعد البعض ويشجع البعض الآخر، وفى غيبة تغيرات جديدة لا يستطيع التطور أن يذهب بعيداً ، فسوف يلتزم النوع بتجميع الجينات الموجودة حاليًا، لكن مع الحين والآخر تحدث "طفرة" (Mutation) وتغير غير عادى فى المادة الجينية التى تنتج فرداً مختلفاً قليلاً عن الأفراد السابقين، وتحدث طفرات كثيرة نتيجة لتعرض أحماض دنا (DNA) فى الكائنات للإشعاع (الأشعة السينية ، وأشعة جاما ، وجسيمات

الأشعة الكونية أو أى نشاط إشعاعى طبيعى آخر) أو بسبب التلف الكيميائي، كما تتضمن بعض تلك الطفرات تكسير الكروموزومات المحتوية على آلاف الجينات ، مما قد يؤدى إلى ارتباط غير طبيعي بين أجزائها، وقد اكتشفت "باربارا مكلين توك" (Barbara McClintock) فى الأربعينيات طفرات أخرى (وهو مثال آخر للعمل العلمي الرفيع الذى لم يلق اعترافًا لعشرات السنين) ،فهناك قطع من الدنا (DNA) تسمى ترانس بوزون (Transposon) أو الجينات النطاطة ، التى يمكنها التحرك من جزء إلى آخر فى الجينوم (Genome) (الجينوم هو مجموع التكوينات الجينية للكائن)، فإذا حدثت طفرة للدنا (DNA) فى الخلية الجنسية "جاميت" (Gamete) فإنها يمكن أن تنتقل إلى الذرية ، وقد تتسبب الطفرات فى حدوث السرطان .

وقد تعرف علماء البيولوجيا الجزيئية على آليات أخرى لتوليد التغيرات اللازمة للانتخاب مثل مضاعفة الجينات (Gene Duplication) ؛ أى حدوث خطأ فى عملية نسخ الدنا (DNA) تؤدى إلى أكثر من نسخة من الجين، ولا تعتبر مضاعفة الجينات من الطفرات ؛ حيث إن نسخة واحدة سوف تستمر فى عملها بصورة طبيعية ، بينما يقوم الانتخاب بالتعامل مع النسخ الأخرى .

وعادة ما تكون التغيرات فى المادة الجينية غير مفيدة، فإذا كانت التغيرات حادة بما يكفى ، فإن الكائن الذى يرث هذه التغيرات سوف يموت أو يتوقف عن التكاثر، والكثير من التغيرات غير ذات خطورة وتنتقل إلى الأجيال المتتابعة دون أن تحدث أى تأثير ضار، وأهمية مثل هذه الطفرات للتطور- إذا وجدت - محل جدل شديد، وفى بعض الأحيان قد تعطى الطفرة بقعة للفرد وتزيد من فرصته فى البقاء، و بمعنى آخر فإن المخلوق الذى تغير أصبح أكثر مواءمة، وكمثال على هذا فإن للببر (Leopard) بقعًا منتشرة على جلده مما يجعله أقل عرضة للرؤية إذا ما جلس على أحد الأغصان ، وسواء كانت الطفرات مفيدة أو ضارة فهى نادرة، وبالنسبة لجين معين فإن الطفرات تحدث بمعدل مرة لكل مائة ألف خلية جنسية، وتساعد ندرة حدوث الطفرات فى تحديد المعدل الذى يحدث به التطور بشكل طبيعي، ومن الواضح أن معدل تكاثر مخلوق معين يتحكم بدوره فى سرعة سباق التطور ، فإذا وضعت البكتريا والفيروسات تحت ضغط

مؤثرات كيميائية ، فإنها تتطور أسرع ، فمن المعروف أن فيروس الإيدز ساحر ومراوغ يغير من شكله ليتغلب على محاولات الأطباء فى مقاومته بالأدوية، وبالمثل فإن نزلات البرد العادية قد تغلبت على كل محاولات مقاومتها ، ويرجع ذلك جزئيا إلى العديد من السلالات سريعة التطور ، وتستطيع الحشرات سريعة التكاثر أن تغير نسق ألوانها خلال سنوات إذا تغيرت الظروف المحيطة بحيث يكون معدل انتخابها مرتفعًا ، وعلى الطرف الآخر تجد أن نوع الحيوانات الكبيرة يتطلب ملايين السنوات ليتغير حتى يمكن أن نطلق عليها نوعًا جديداً ، ومن المثير أن "باربارا ماكلين توك" قد ذكرت أن معدل قفز "الترنس بوزونات" يزيد بسرعة صاروخية إذا كانت الخلايا تحت تهديد، وهو أمر منطقى حيث يخلق أكبر كمية من التغيرات التى يستطيع الانتخاب التعامل معها فى وقت الشدة .

ومع ذلك ، وبصورة عامة ، فإن الآلة الجزيئية التى تسمح للكائنات بإنتاج التغيرات لا تستطيع الدوران بسرعة كافية لتواجه التغيرات الكارثية فى الظروف المحيطة ، ولهذا فإن الفناء الشامل الذى تحدثه الصدمات الفضائية الخارجية ، يجبرنا على إعادة التفكير فى التطور، وربما يكون الانشغال الزائد بمسألة "المواءمة" قد صرف نظر العلماء عن دراسة الأدلة المتراكمة عن الفناء الشامل، ونتيجة لذلك فإننا نعتقد الآن أنهم كانوا على الأرجح مضللين لما يزيد عن مائة سنة ، وربما قد شغلوا أنفسهم بالتفكير بأن القوى الدافعة الرئيسية للتطور هى التنافس بين الأفراد والأنواع تحت الظروف العادية، بينما كانت الحقيقة أن القوى الدافعة كانت ظاهرة مختلفة تمامًا.

وقد أظهرت سجلات الحفريات متتابعة أن مجموعة مزدهرة من الكائنات الحية كانت تعيش على فترات جيولوجية مديدة، ثم فى لحظة ما اختفت للأبد، فمثلاً، اختفت مجموعة كبيرة من القواقع الصدفية المسماة "أمونيتات" (ammonites) مع اختفاء الديناصورات والفورامات (forams) ، وكانت تعيش فى المحيط فى جميع أنحاء العالم ، وتشبه بعض الأمونيتات النيوتيلات (nautilus) الجميلة الموجودة حاليًا، وكان قطر بعضها يصل إلى متر ، أما أغلبها فكان قطره أقل من ذلك بكثير.

وقد يكون مثل هذا الفناء الشامل ضروريا لمعظم التحولات فى اتجاه التطور، وفى الواقع - كما ذكرنا فى الفصل السابق - فإن علماء الحياة القديمة مثل "ديفيد روب" قد اقترحوا أن الصدمات الفضائية الخارجية هى السبب الرئيسى لفناء الكتلة، فإذا كانوا على صواب فهذا يعنى أن الكويكبات والمذنبات هى المصدر الرئيسى للقوى الدافعة للتطور وليس الانتخاب الطبيعى التدريجى، وبعبارة أخرى ، فإن الصدمات تولد تغيراً سريعًا فى الظروف المحيطة ، حتى إن مخلوقات كثيرة من بعض الأنواع لا تتمكن فجأة من "المواءمة" للبقاء ، وفى غيبة تغيرات كافية أو أى وسائل لإحداثها وبسرعة ، فإن أفراد هذه الأنواع لا تستطيع أن تتأقلم مع الظروف الجديدة ، ولذا فإنها تموت ، ولا يتمكن أى من أنواع الحيوانات من التأقلم ، بمعنى التأقلم أثناء الكارثة ، لكن كما ذكر "روب" : "هناك بعض الأنواع لحسن الحظ قد استعدت مسبقًا للتأقلم تجاه تأثير الصدمات" : ولهذا فإنها تتمكن من البقاء، وبعبارة أخرى ، فإن الصفات التى تطورت لأسباب أخرى قد تكون صالحة لحمايتها من الكارثة ، وبعد أن يستقر الغبار ويظهر قرص الشمس من العتامة ، فإن الأنواع القليلة الناجية تزدهر بسرعة، وفى هذا المجال الجديد وبأقل تنافس ممكن ، فإن هذه الأنواع الموجودة ستعطى فى النهاية أنواعًا كثيرة أخرى، وعليه فإن الانتخاب الطبيعى يستمر من خلال الفناء الشامل ليس تدريجيا ولكن بوتيرة شديدة التسارع .

وما زال بعض علماء الحياة القديمة ذوى السمعة ، ينظرون إلى البيانات الحفرية بطريقة مختلفة ، ويرون أن الفناء الشامل يحدث على مدى ملايين السنين وليس فجأة ، أو أنهم ما زالوا يؤكدون أن للصدمات تأثيراً محدوداً فقط ، لكن علماء آخرين مثل "روب" و"ستيفين جاى جولد" يقولون بصورة مهذبة إن هذا الموقف المعارض يرجع إلى التحيز للتدرجية وليس لتحليل موضوعى، وفى رأيهم أن تاريخ الحياة على الأرض يتكون من فترات طويلة تتغير خلالها الأنواع ببطء - إذا حدث تغيير أصلاً - يفصل بينها تفجر للحياة عندما تزدهر أنواع جديدة، وقد تكون الصدمات العنيفة هى علامات الفصل بين هذه الفترات، ونحن لا ندعى بكل تأكيد وجود دليل على أن الصدمات هى التى تسببت فى حوادث الفناء الأخرى ، حتى نطابق ذلك على حقيقة أن كويكبًا أو مذنبًا هو الذى قد قضى على الأمونيتات والفورامات والديناصورات، وما زلنا فى حاجة

إلى مزيد من البحث ، وهو ما يجرى الآن بالنسبة للفناء الشامل والحفر المخروطية الجيولوجية ، ولكن أى أفق ثورى أخاذ قد فتحته لنا أبحاث الصدمات : به قد تدخل علم الفيزياء مرتين فى فهم تطور الحياة، أولاً فى الطفرات العشوائية الضرورية لكل التغيرات التطورية، وثانيًا بإحداث دمار على مستوى العالم لولاه لما كانت هناك فرصة لازدهار المخلوقات .

بعد أن رحلت الديناصورات عن الساحة، بدأت تنتشر بسرعة أنواع قليلة نسبيا من الثدييات التى لم يعرها أحد أى انتباه من قبل ، وانمحت من الوجود كل أنواع الديناصورات قاطبة (إذا لم نأخذ الطيور فى اعتبارنا)، ومع ذلك فقد تمكنت أنواع كثيرة من الثدييات من البقاء ، وعلى ذلك فالبشر الذين يقفون فى أعلى سلم الثدييات مدينون بوجودهم للصدمة العظمى التى أفنت أشكال الحياة منذ ٦٥ مليون سنة .

وكما لعبت الكوارث الفلكية الفيزيائية دوراً فى نشأتنا كنوع من الثدييات ، فإنها تدخلت كذلك فى صناعة ذراتنا ، لكن مقياس العنف - درجة الحرارة اللازمة لطهى المادة الأولية فى أشكال ضرورية للحياة - كان أكبر بكثير من ذلك الذى نتج عن ارتطام مذنب ، وكما كان من الصعب أن نوضح دور المؤثرات الفضائية الخارجية فى التأثير على تراثنا التطورى، فإن عملية استخراج أسرار أصلنا النووى كانت أشق كثيراً من ذلك ، ولقد استدعى الأمر ثلاثة قرون صاخبة حافلة بالتقدم فى الفيزياء والكيمياء لمجرد صياغة السؤال الأساسى: ما هى الجسيمات الأولية فى الطبيعة ؟ كيف وأين ومتى تكونت العناصر الكيميائية ؟ لقد تطلب الأمر آلاف السنين لمجرد تحديد الموقع الذى تتطور فيه المادة فى صورتها الحالية المعقدة، ونعتقد الآن أننا نعرف ذلك لقد حدث ذلك فى قلب نجم .

الفصل الحادى عشر

نجـــم جـــديد

فى يوم ٢٢ فبراير سنة ١٩٨٧ سجلت أجهزة القياس الإلكترونية أتوماتيكيا تسع عشرة ومضة ضوئية زرقاء فى خزانين مملوءين بالماء ، أحدهما فى منجم رصاص باليابان والآخر فى منجم ملح تحت بحيرة أيرى (بالولايات المتحدة)، ولم يحدث أن سجلت تلك الأجهزة هذا العدد الكبير من الومضات فى وقت بهذا القصر، ولم يؤكد أى شخص آخر تلك الومضات لعدة أيام ، ولكن كان مسجلاً أن انفجاراً قد حدث منذ ١٧٥ ألف سنة (ضوئية) ويفسر ذلك بأن انفجاراً استمر لأقل من عشرين ثانية داخل نجم متفجر منتجًا عدداً هائلاً من جسيمات النيوترينو التى اخترقت أجهزة القياس الموجودة تحت الأرض، واصطدم القليل منها بالخزانات مسببًا الومضات الضوئية المعروفة باسم إشعاعات سيرينكوف Cerenkov radiation .

وفى منتصف ليلة ٢٣ فبراير كان "أوسكار دوهال" (Oscar Duhale) ينظر إلى سحابة "ماجلان الكبرى" Magellanic cloud ، وهى مجرة قريبة تدور حول مجرتنا (درب اللبانة) ، ودوهال هو أحد المساعدين الماهرين ويعمل على تلسكوب قطره متر واحد بمرصد "لاس كامباناس" Las Campanas " بشيلى ، وله دراية كبيرة بهذا الجزء من السماء ، لاحظ دوهال لطعة خافتة من غاز متوهج وتسمى سديم تارانتولا Tarantula nebula داخل سحابة ماجلان الكبرى ، ولكن دوهال شاهد بقعة براقة بجوار هذا السديم تماماً لم يكن قد شاهدها من قبل .

وبعد ساعات قلائل قام "إيان شلتون " (Ian Shelton) بتجهيز لوحات فوتوغرافية مستخدماً تلسكوباً أصغر فوق نفس قمة الجبل الذى يوجد عليه دوهال . كانت هذه

عادة ما ينسب فضل الاكتشاف في العلم – وهذا شيء أساسي لبناء سمعة العالم – لأول شخص لديه الثقة الكافية ويعلن عما اكتشفه ويجعله أمراً في متناول الجميع، وفي علم الفلك فإن أول من يتصل به الفلكيون عند مشاهدة أي شيء، هو "بريان مارسدن" الذي يدير المكتب المركزي للبرقيات الفلكية للاتحاد الدولي للفلك (Internaional Astronomical Union) أو (IAU) في مدينة كمبردج بولاية ماساشوستس، ففي حوالي التاسعة من صباح ٢٤ فبراير تلقى مارسدن تلكساً من مرصد "لاس كامباناس" عن المستعر الأعظم، وبعد دقائق تلقى مكالمة تليفونية من "ماكنوت" يبلغه فيه آخر قياسات اللمعان، وسرعان ما أيقن مارسدن أن "ألبرت جونز" هو الوحيد الذي توصل منفرداً لاكتشاف المستعر الأعظم 1987 A ، على الرغم من أن اكتشافه قد جاء بعد ساعات من الاكتشاف الذي تم في شيلي، ورسمياً فإن فضل اكتشاف المستعر الأعظم 1987 A قد ذهب إلى "شيلتون و دوهال"

حشد المستعر الأعظم 1987 A الفلكيين في العالم أجمع بصورة كبيرة، وأعطى هذا الثوران الفائق فرصة قد لا تأتي إلا مرة واحدة في العمر، للملاحظة الدقيقة لواحدة من أخطر الظواهر في العلوم، وقد افترض المشاهدون في فترة ما أن توهج أي بقعة جديدة في السماء تعني ميلاد نجم، أما اليوم فنحن نعلم أن ذلك يعني على الأرجح موت نجم، وتميز المستعرات العظمى النهاية المأساوية للنجوم، وهي ظاهرة أساسية في أهميتها للفلكيين الفيزيائيين، وكان النجم الميت في حالة المستعر الأعظم 1987 A هو نجم خافت كان يعرف من قبل بالرمز SK - 69202 ، وكان طيف هذا النجم يدل على أنه عملاق فائق أزرق – ثقيل يزيد نصف قطره ٥٠ مرة عن نصف قطر الشمس– وعندما حاول الفلكيون رصده بعد اكتشاف المستعر الأعظم 1987 A وجدوا أنه قد اختفى .

ولقد كشفت لنا المستعرات العظمى معلومات مهمة عن دورة حياة النجوم . ولكن أهميتها لقصة أصولنا تتمركز في حقيقة أساسية وهي أنها المصدر الوحيد لكثير من العناصر الكيميائية الضرورية للحياة ؛ ولذلك فإن انفجار المستعرات العظمى تمثل صدمتنا العظمى الثانية ، وكما سنرى فإن المستعرات العظمى يمكن أن تؤثر على تطور الكون بأن تعطي مصدراً للطاقة يقدح تكوين النجوم ، وهي تقوم بكل تأكيد

الصور لنفس القطاع من السماء الذي شاهده دوهال ، وفوجئ "شلتون" بوجود بقعة ذات حجم واضح في الجزء الجنوبي الغربي مباشرة لسديم التارانتولا، وكانت الألواح الفوتوغرافية في الليلة السابقة لم تظهر إلا نجماً باهتاً جداً في هذا المكان، أما البقعة التي شاهدها الآن فهي لنجم ساطع لدرجة أنه يمكن رؤيته بدون تلسكوب .

خرج شلتون و دوهال ورفاق عديدون لإلقاء نظرة أخرى ، وكان هذا النجم ما زال موجوداً، وبعد ملاحظة بضع لمحات قليلة من الانعكاسات ، واعتماداً على المسافة بين الأرض وسحابة ماجلان الكبرى – اقتنع الفلكيون أن هذا الجسم الجديد ليس إلا نجماً متفجراً أو مستعراً أعظم بدأ لمعانه في الزيادة ليصل إلى الحد الأقصى، وفي سجلات ألفي سنة مضت لرصد السماء لم تشاهد سوى ستة مستعرات عظمى، كان بريقها يسطع لدرجة أنه يمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وكان آخر واحد أمكن رؤيته في سنة ١٦٠٤ قبل اختراع التلسكوب، وبهذا الكشف بدأت ملحمة الثمانينيات الفلكية الأكثر إثارة كمثل رائع لصدمتنا الكبرى الثانية، وقد كان هذا الحدث هو قمة الإثارة عند عامة الناس، وكان يمكن أن يستمر كذلك لولا طغيان حادث هجوم مذنب شوميكر– ليفي ٩ على المشتري سنة ١٩٩٤ .

وبعد ساعة واحدة من الاكتشاف الذي حدث في شيلي، وجه الفلكي النيوزيلندي الهاوي ألبرت جونز (Albert Jones) تلسكوبه إلى بعض النجوم المتغيرة في سحابة ماجلان الكبرى، ورأى هو أيضاً النجم الساطع الجديد الذي كان في مكان لا ينتمي إليه، وقد أزعجته السحب وأعاقت محاولاته لقياس لمعان النجم الجديد، لذلك قام بالاتصال تليفونيا برفاقه في أستراليا ونيوزيلندا، وبعد أن صفت السماء واصل مشاهداته واستطاع أن يسجل اللمعان المتزايد للمستعر الأعظم على مدى عدة ساعات ، وبعد تلك المكالمة التليفونية تيقن الفلكي الأسترالي "روبرت ماكنوت" (Robert McNaught) أن الصور التي التقطها في الليلة السابقة ولم يختبرها بعد، هي صور المستعر الأعظم ، وكان النجم الجديد يسطع في تلك الصورة وإن كان أقل بريقاً مما نراه الآن ، لكنه ظل يُرى بوضوح .

بتمحيل الأشعة الكونية عالية الطاقة التي تسبب معظم الطفرات اللازمة لتطور الحياة؛ ولأن بعض أنواع المستعرات العظمى تتطور بلمعان قياسي، فإنها أيضًا قد تساعد في تحديد عمر ومصير الكون.

وكل ما يتعلق بالمستعر الأعظم مدهش: فالكثير منها يظهر انفجارات نجوم أثقل كثيرًا من شمسنا، والقوة اللازمة لتمزيق نجم ثقيل الكتلة أمر يفوق تخيلاتنا، ويشع المستعر الأعظم في الثواني الأولى لانفجاره من الطاقة ما يعادل طاقة الكون كله مجتمعة، والذي يحتوي على ١٠ ٢١ نجوم على الأقل تتوهج بتفاعلاتها الحرارية، وتولد انفجارات المستعرات العظمى أكثر الأجسام المولدة غرابة - وهي النجوم النيوترونية الدوارة التي تتكون من مادة غاية في الكثافة لدرجة أن ملء ملعقة شاي منها يزن أكثر من عشر بوارج حربية - وأكبر انفجارات المستعرات يمكن أن ينتج ثقوبًا سوداء أو رفات نجوم غير مرئية، وجاذبيتها من القوة بحيث تمنع أي ضوء من الانفلات، وتقتنص للأبد أي مادة تقترب منها بدرجة كافية.

ولم يكن أي من هذه المعلومات معروفًا أو حتى متوقعًا عندما شوهدت المستعرات العظمى الأول منذ قرون، ومن المسلم به الآن أن النجم الذي سطع بشكل مؤقت في بيت لحم ومدون بالكتاب المقدس هو مستعر أعظم[1].

وتُظهر سجلات الرومان والصينيين الموجودة من سنة ١٨٥ ميلادية أن نجمًا جديداً في "تجمع سنتاروس" قد سطع لمدة عشرين شهراً، وفي أوج سطوعه كان يرى بسهولة في النهار، وفي عام ٣٩٣ ميلادية أظهرت سجلات الصينيين ظهور نجم جديد مشابه، ويربط الفلكيون اليوم هذه الحوادث مع البقع التي تظهر في أيامنا هذه ونعرفها باسم بقايا المستعرات العظمى RCW 86, CTB37 A/B.

(١) إذا كان النص المقدس صحيحاً، فإن هذا النجم على الأرجح هو نجم جديد قصير العمر، والنجوم الجديدة في توهجات ثانوية يعتقد أنها تحدث عندما يهرب الهيدروجين من أحد النجوم ليسقط على رفيقه القزم الأبيض، فيتراكم الهيدروجين حتى ينفجر بشكل مشابه لانفجار قنبلة نووية حرارية، وتتمكن هذه النجوم من البقاء، وقد يتكرر معها التوهج وتكون نجوماً جديدة على فترات منتظمة، وعلى عكس المستعرات العظمى التي تظل واضحة الرؤية لعام أو أكثر، فإن النجوم الجديدة تسطع لعدة أيام أو أسابيع فقط

وقد ظهر أكثر المستعرات العظمى إبهاراً في سنة ١٠٠٦، وأول من لاحظه الفلكيون من اليابان والصين ومصر. ظل هذا المستعر الأعظم - أكثر المستعرات بريقًا - يسطع لدرجة أنه غطى على كوكب الزهرة وكل الكواكب الأخرى حتى تغلب على القمر، وكان يرى بالنهار لعدة أشهر، وظل يشاهد ليلاً على مدى ثلاث سنوات تقريبًا، وبعد ذلك سجل الفلكيون ظهور هذا المستعر الأعظم في كل أوروبا وشمال أفريقيا، وترك وراءه غلافًا ممتداً من الغاز كمصدر راديوي مسجل اليوم تحت رمز PKS 1459-41، وهو مصدر ضعيف للأشعة السينية ولبعض الأشعة المرئية الخافتة التي ترى بالتلسكوبات القوية.

وللغرابة فإن المستعر الأعظم التالي، وهو الحدث الشهير في عام ١٠٥٤، لم يسجل على ما يبدو في أوروبا، لكنه سجل بعناية بواسطة الصينيين، وربما لوحظ بواسطة سكان جنوب غرب أمريكا، وقد توهج هذا "النجم الزائر" في برج الثور لمدة ثلاثة أسابيع نهاراً ولسنتين تقريبًا ليلاً. خلف هذا الزائر بقايا جميلة منتشرة نعرفها اليوم باسم سديم السرطان، وفي وسط هذا السديم نجم نيوتروني يدور حول نفسه مشعًا نبضات راديوية في المجرة بمعدل ٣٠ نبضة في الثانية، وهذا النابض Pulsar الذي اكتشف في سنة ١٩٦٨ يتباطأ تدريجيا نظراً لفقده الطاقة بمعدل يتوافق مع عمره الذي يبلغ الألف سنة تقريبا، ويشع النجم النيوتروني المتبقي في مركز سديم السرطان أيضًا نبضات مرئية، الأمر النادر الحدوث بين النجوم النابضة (Pulsars).

والمستعر الأعظم الذي ظهر في سنة ١١٨١ وسجل ظهوره في اليابان والصين فقط شوهد ليلاً في السماء على مدى ستة شهور، وبقاياه هي المصدر الراديوي القوي 3C 58، ولا يرتبط بكل من 3C 58، و PKS 1459-41، أي نابض (Pulsar)؛ لأن الأشعة التي تصدر عن النجوم النيوترونية المتبقية أخطأت كوكب الأرض، أو ربما لم يبق هناك نجوم نيوترونية.

وفي سنة ١٥٧٢ ظهر المستعر الأعظم البراق التالي، أو ما يسمى باللاتينية Nova Stelli، في الوقت المناسب ليأخذ مكانًا مُهما في تاريخ الفكر البشري، فعلى

مدى ثلاثين سنة اشتبك العلماء بحرارة في جدال حول نظرية "كوبرنيكوس" (Copernicus) الجريئة والخطيرة، والتي تقول بأن الأرض ما هي إلا واحدة من كواكب عديدة تدور حول الشمس. أما الرأي المعاكس الذي يستمد أصوله من "أرسطو" وتبنته بواسطة الكنيسة الكاثوليكية فيدعي بأن الأرض ساكنة لا تتحرك ، وتشغل مركز الكون تماماً، وتدور حولها الشمس والقمر والكواكب بمعدلات مختلفة وفي "مستويات بلورية" مختلفة، وتشغل النجوم المستوى الكروى الدوار الثامن من السماوات، وعلى عكس التغيرات وعدم التكامل في المستويات الأدنى ، فإن المستوى الثامن مقدس لا يتغير، ولا يوجد مكان لنجم مؤقت في المستوى الثامن، وبالنسبة للمدافعين عن نظرية أرسطو الفلكية ، فإن مثل هذه التوهجات تحدث في الغلاف الجوى بجانب المذنبات والنيازك، ولذا فليس لها أهمية . ربما يكون هذا الرأي المتميز الغريب وراء فشل الأوروبيين في تسجيل المستعرات العظمى سنوات ١٠٥٤ ، ١١٨١ ، التي لابد أنها كانت واضحة لهم (بالرغم من أنهم قد سجلوا المستعر الأعظم الذي ظهر سنة ١٠٠٦) .

لم يكن الفلكي الشاب " تايكو براه " (Tycho Brahe) أول من لاحظ بريق النجم الجديد في برج (Cassiopeia) ، لكنه قام بملاحظات تفصيلية أدت إلى تمكن الفلكيين اليوم من إعادة بناء المنحنى الضوئي لهذا النجم ، أو الرسم البياني للبريق مع الزمن، والأكثر من ذلك أهمية أنه قام بتحديد مكان النجم الجديد بالنسبة لخلفية النجوم ، وقد وجد "براه" أن موقع هذا النجم لا يتغير بالمرة بين ليلة وأخرى ، وعلى النقيض من ذلك فإن القمر والكواكب والمذنبات تبدى حركة ظاهرية من السهل متابعتها بالنسبة للنجوم من ليلة إلى أخرى ، وقد أكد اكتشاف "براه" بما لا يدع مجالاً للشك وجود المستعر الأعظم في المستوى الثامن ، الأمر الذي لم يجد له أتباع أرسطو تفسيراً .

وقد استخدم "براه" قياساته في كتابه المثير للجدل " النجم الجديد " De Nova Stella ليدحض الآراء الأرسطية عن المستويات البلورية ، وبالرغم من أن ملاحظة واحدة لم تكن كافية للإجهاز على النظام الأرسطي، فإنها ولدت شكوكًا معقولة في أذهان معاصريه الأكثر تفتحاً، والأكثر من ذلك أن النجم الجديد الذي ظهر في سنة ١٥٧٢ قد ألهم "براه" أن يهب بقية عمره في ملاحظة الكواكب ، وقد دفعت نتائجه "يوهانس كبلر" (Johannes Kepler) لاكتشاف قوانينه الشهيرة عن حركة الكواكب ، وعندما قام

إسحق نيوتن بتفسير قوانين كبلر مستعيناً بقوانينه الخاصة عن الحركة والجاذبية الكونيتين تم القضاء على مكانة أرسطو تماماً ، وبحلول منتصف القرن الثامن عشر أعلن انتصار "كوبرنيكوس" والعلم الحديث .

في سنة ١٦٠٤ فوجئ الأوروبيون بظهور مستعر أعظم آخر، وهو آخر مستعر أمكن رؤيته بالعين المجردة حتى سنة ١٩٨٧ ، وقد ظهر النجم الجديد في هذا المرة قريباً جدا من المريخ وأثناء اقتران المريخ بالمشترى (أي ظهر في نفس البقعة من السماء) مما جعل له تأثيراً قويا في مجال التنجيم ، وقد نشر كبلر رفيق براه كتاباً عن المستعر الأعظم ١٦٠٤ أشار فيه مرة أخرى إلى البعد الكبير الذي وقع فيه هذا الحدث (معتمداً على حقيقة أن النجم لم يتحرك بالنسبة للسماء)، وعلى النقيض من نصوص أرسطو عن عدم التغير في السماوات العليا، وفي غضون خمس سنوات صمم جاليليو تلسكوبه - وكان قد شاهد حدث ١٦٠٤ - وبدأ في إجراء ملاحظاته التي ساهمت كذلك في إضعاف وجهة نظر أرسطو عن الكون ، وبالنظر لأحداث سنة ١٥٧٢ ، وسنة ١٦٠٤ يمكن فيما يبدو الوصول إلى استنتاج أن المستعرات العظمى قد أثرت وبحق في تاريخنا الفكرى إلى جوار أصولنا الفيزيائية .

وقد توهج كل نجم من هذه "النجوم الجديدة " التاريخية مدة طويلة تكفي لاعتبارهم مستعرات عظمى وليس نجوماً جديدة عادية، وكانوا من السطوع بحيث يمكن الاعتقاد أنهم واقعون في حدود مجرتنا (بناء على المعلومات الحالية عن مقياس الكون) ، وقد تم ربط كل منهم برفات مستعر أعظم يمكن رؤيته بواسطة التلسكوب الراديوى أو الضوئي أو بكليهما معاً، وقد اكتشف العلماء اليوم أكثر من ٧٠٠ مستعر أعظم في المجرات البعيدة ، وفي المجرات الأكبر تحدث ظاهرة المستعر الأعظم بمعدل يصل إلى مرة كل ٣٠ سنة في المجرة الواحدة ، ونشاهدها نحن بمعدل أقل بكثير في مجرتنا الخاصة ؛ فقط لأن الغبار بين النجوم يعتم الرؤية ؛ ولأن أشعة النجوم تظلم آلاف السنين الضوئية خلال الغبار، فإن ضوء النجوم يخبو حتى إن معظم المستعرات العظمى- ولنفس السبب معظم النجوم في مجرتنا - لا يمكن مشاهدتها من الأرض .

ولم يكن لدى المشاهدين للمستعرات العظمى التاريخية ولا للفلكيين الأكثر معرفة فى القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، أدنى فكرة عن السبب الذى أدى إلى هذه الانفجارات الغامضة، وبكل تأكيد لم يتخيلوا أنهم يشهدون موت النجوم ، وكان أول الطريق فى هذا الاتجاه هو قياس سرعة الغاز المتمدد فى انفجارات النجوم ، لكن الإدراك الحقيقى لم يأت إلا بعد التقدم الثورى فى الفيزياء فى القرن العشرين .

الفصل الثاني عشر

نحن والنجوم

عندما تلمس جزءاً من جسمك أو أى جسم قريب فوفقاً لاكتشافات علماء الفيزياء الفلكيين ، فإن المادة التى تلمسها ما هى إلا جزء صغير من غبار النجوم ، وبالحرف الواحد فإن هذه المادة كانت يوماً ما جزءاً من نجم، ليس أى نجم بل نجم معين انفجر مكوناً مستعراً أعظم . لقد عرفت هذه الحقيقة الغريبة منذ نهاية الخمسينيات عندما عرض "ويليام فاولر" (William Fawler) من معهد كاليفورنيا للتقنية ومساعدوه نظرياته عن تطور العناصر الكيميائية ، التى حصل بسببها على جائزة نوبل فى الكيمياء فيما بعد ، وكما كشفت ملحمة المستعر الأعظم عن تفاصيل مذهلة خلال العقود الثلاثة الأخيرة ، أصبح الفيزيائيون أكثر تأكداً من تحديد الموقع الأساسى الذى طهيت فيه المادة لتصبح فى الشكل النووى المعروف الآن

وحتى الآن فإننا لا نعلم تماماً كيف تنفجر المستعرات العظمى ، إلا أننا متأكدون من انفجارها قاذفة من داخلها مواداً نووية إلى الفضاء ، يتحد بعدها الغبار الناتج والغاز ليكونا بروتوستار (Protostar) - أى أصل النجم - الذى سرعان ما ينهار ويشتعل كجزء من الدورة الكونية السارية، وربما وبعد عدة دورات من التكون والتحطم فإن واحداً من تلك "البروتوستارات" أصبحت شمسنا، وكما سنرى فإن هناك دليلاً قويا على أن المادة المكونة لمجموعتنا الشمسية وللحياة قد جهزت ثم أعيد تجهيزها فى المستعرات العظمى .

ويتكون حوالى ٩٩ ٪ من أجسامنا من ستة عناصر فقط : الهيدروجين والكربون والنيتروجين والاكسجين والفوسفور والكبريت، وأكثر هذه العناصر شيوعاً فى

الهيدروجين والأكسجين على وجه الإطلاق ، فهما يكونان أكثر من ٨٥ ٪ من كل ذرات المادة الحية ، وبالرغم من أن الكربون أقل شيوعاً ، حيث إنه يوجد بنسبة حوالى ١٠ ٪ ، فإن له دوراً رئيسيا فى خضم الحياة لما له من قدرة على الترابط بوفرة مع نفسه ومع ذرات أخرى ، وهناك عناصر أخرى توجد بنسب ضئيلة إلا أنها ضرورية للحياة بدءاً من الماغنسيوم الذى بدونه لا يستطيع النبات إنتاج الغذاء ، والصوديوم الذى هو أساسى لأعصابنا وعضلاتنا ، واليود الموجود فى الغدة الدرقية ، وانتهاءً بالحديد الموجود فى الدم ، ثم عناصر الموليبدنوم ، والسيلينيوم والفاناديوم المعروفة بصورة أقل ، لكنها تقوم بدور حيوى فى العملية البيوكيمائية .

كيف جاءت العناصر المكونة للحياة ، وكذلك العناصر الكيمائية الأخرى الموجودة فى الطبيعة والتى تربو على التسعين ؟ كان أصل العناصر حتى بداية القرن العشرين أمراً غامضاً وغير متاح للعلوم إلا بالكاد؛ وذلك لأن تركيب المادة نفسه كان شيئاً مجهولاً. ولسنا متأكدين فيما إذا كان العلماء الأولون قد فكروا فى طرح هذا السؤال، ولكن بنهاية العشرينيات أدرك علماء الفيزياء دور إلكترونات الذرة ، وهى عبارة عن سحابة رقيقة من الجسيمات سالبة الشحنة ذات الكتلة الصغيرة التى تدور حول نواة صغيرة لكن كثيفة ، وبعد اكتشاف سير جيمس تشادويك (James Chadwick) للنيترون سنة ١٩٣٢ أصبح واضحاً أن نواة الذرة تحتوى على وحدتى بناء ، هما النيوترونات والبروتونات وتسمى النيوكليونات (Nucleons) ، وتترابط هذه النيوكليونات بأكثر من ٢٦٠٠ شكل مختلف، وتعرف بعدد البروتونات (العدد الذرى) وعدد النيوترونات، وتسمى الذرات التى لها نفس العدد الذرى ، ولكن تختلف فى عدد النيوترونات بالنظائر (Isotopes) ، و٢٨٠ فقط من هذه النظائر مستقر والباقى مشع يتحلل تلقائيا إلى نظائر أخرى، ويتراوح نصف العمر لهذه النظائر ما بين أجزاء من الثانية وبلايين السنوات .

وقد استطاع علماء الفيزياء دراسة عشرات التفاعلات النووية واكتشاف الكثير من النظائر الجديدة بفضل جهاز "السيكلوترون" (Cyclotron) وهو جهاز معجل الجسيمات المشحونة والذى اخترعه "إرنست لورنس " Ernest Lawrence ورفاقه فى بيركلى ما بين الثلاثينيات والأربعينيات ، وكان تطور التفاعلات النووية خلال الحرب العالمية الثانية وبعدها (استخدمت للتحكم فى تفاعلات تشبه تفاعلات القنابل الذرية) - قد زاد من

سهولة دراسة العمليات النووية وبالأخص تلك التى تبدأ بالنيوترونات، وفى النهاية استطاع العلماء أن يحاكوا نفس الظروف التى حدثت فى بداية الكون أو فى قلب النجوم ، حيث درجة الحرارة قد تبلغ الملايين أو حتى البلايين ، ولعل المعلومات التى لدينا الآن تعطى نقطة بداية ممتازة لكيفية تطور المادة فى الكون .

ومن الممكن أن تكون التفاعلات الكيميائية مدهشة ، فقد يصاحبها انبعاث حرارة كبيرة ، أو تغير رائع فى اللون ، أو ظهور مادة لزجة غروية ، أو انطلاق بقايا لغازات متفجرة، وتتضمن كل هذه التفاعلات تغيراً فى إلكترونات الذرة ، أما النيوترونات والبروتونات فتظل كما هى ، وعلى النقيض من ذلك ، فإن التفاعلات النووية تحقق حلم الكيميائيين (Alchemists) فى تحول العناصر، فمن الممكن لهذه التفاعلات أن تسبب تغيراً فى عدد جسيمات النواة ، فعند الاصطدام قد تندمج الأنوية وتقتنص نواة الهدف نيوترونات أو تتفكك مشعة تلقائيا ، ومن الممكن الحصول على الذهب من عمليات متتالية لاقتناص النيوترونات بواسطة العناصر الخفيفة ، وفى الحالات القصوى مثل تلاشى الجسيمات النووية المضادة عند التقائها بأنوية المواد العادية فإنها تتحول إلى فوتونات عالية الطاقة يطلق عليها أشعة جاما ، وهى طاقة كهرومغناطيسية، والطاقة الناتجة فى هذه الحالة تزيد مئات الآلاف أو ملايين المرات عن الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية مثل عمليات الاحتراق العادية .

وأهم شىء فى إنتاج العناصر هو تفاعلات الاندماج حيث تندمج نواتان لتكونا نواة أثقل ، وينطلق مع مثل هذه التفاعلات كميات هائلة من الطاقة ، حيث إن كتلة الأنوية الأصلية أكبر من كتلة النواة الناتجة، ولا يتغير العدد الكلى للجسيمات النووية (النيوكليونات) فى هذه التفاعلات ، لكن الذى يتغير هو طاقة ربط هذه النيوكليونات ، فطاقة الربط الناتج لابد أن تكون أكبر من طاقة الربط للأنوية المتفاعلة إذا صاحب التفاعل الاندماجى انطلاق طاقة ، والنواة ذات طاقة الربط الأكبر أكثر ثباتاً، وسوف تكون فى النهاية تفضيليا فى نظام من تفاعلات متنافسة .

والطاقة الرهيبة لتفاعلات الاندماج تمنح النجوم قوتها، وتعرف هذه التفاعلات باحتراق الهيدروجين واحتراق الهليوم وهكذا ، وكما أنه يلزم عود ثقاب لبدء أى عملية اشتعال عادى ، فإنه يلزم كم من الطاقة لتبدأ تفاعلات الاندماج بين الجسيمات

المشحونة المتصادمة، وحيث إن البروتونات تحمل شحنة كهربية موجبة ، فإنها تتنافر مع بعضها بقوة ، فإذا لم يكن الوقود النووى ساخناً جدا فإن النيوكليونات ستتحرك ببطء لتقاوم التنافر فيما بينها، ويتطلب الاندماج أن تتقارب الأنوية من بعضها بشكل كبير، والسبب فى ذلك أن قوة الجذب فى هذه التفاعلات النووية والتى تسمى بالقوة النووية القوية (Strong nuclear force) لها مدى صغير جداً؛ ولذلك تلزم درجات حرارة عالية جدا تصل إلى عشرات بل مئات الملايين لتتحرك الأنوية بالسرعة الكافية التى تمكنها من النفاذ خلال حاجز التنافر ليتمكن تفاعل الاندماج من الحدوث، وحتى عندئذ فإنها تعبر الحاجز بواسطة عملية كم ميكانيكية (Quantum Mechanical) لعبور النفق (Tunneling) .

يمكن الحصول على درجة الحرارة العالية اللازمة للقنبلة الاندماجية أو النووية الحرارية باستخدام قنبلة ذرية (انشطارية)، وفى حالة نجم شاب فإن طاقة الجاذبية لسحابة غاز النجم المنهارة تعطى فى البداية درجة حرارة عالية ، ولتشغيل مفاعل اندماج له القدرة على توليد طاقة كهربية رخيصة ، فعلى المهندسين أن يمدوه بطاقة خارجية ربما من ليزر عملاق ، وفى أيامنا هذه فإن معظم المفاعلات المتقدمة تنتج درجة حرارة تعادل أو تزيد عن الدرجة الموجودة داخل النجوم ، ولكن بتكلفة عالية جدا وكثافة مادة منخفضة جدا، وتبذل كل السبل لجعل الطاقة المستخرجة من هذه التفاعلات أكبر من الطاقة الداخلة ، وحتى الآن ما زال تحقيق المساواة بين الاثنين يراوغ مهندسى الاندماج النووى .

ولقد توصل علماء الفيزياء إلى تفهم أساسى للتفاعلات الاندماجية خلال الحرب العالمية الثانية، حيث توصلوا إلى أن الاندماج يعطى تفسيراً لأصل العناصر الكيميائية ، فمعظم الأنوية – أو على الأقل عنصر الحديد – لها طاقة ربط لكل نيوكليون أكبر من تلك للأنوية الخفيفة ؛ ولذلك فمن السهل أن نتصور حدوث سلسلة من التفاعلات لتعطى كل منها أنوية أثقل وأثقل وهكذا، ويمكن أن تكون هذه السلسلة من تفاعلات تقتنص فيها النواة نيوتروناً بعد الآخر، أو قد تتضمن تصادمات متتالية لجسيمات مشحونة ، لكن الباحثين كانوا يتساءلون : أين إناء الاندماج هذا الذى يحدث فيه طهى وإنضاج هذه التفاعلات ؟ ! أحد الاحتمالات هو النجوم العادية المستقرة مثل الشمس ، لكن كيف تتمكن العناصر الناتجة من الهرب منها ؟ .

واعتقد الفيزيائيون فى البداية أن الظروف الساخنة العنيفة للكون المبكر هى التى قامت بطهى تفاعلات الاندماج ، ولقد قام "إدوارد تيلر" Edward Teller – الملقب بأبى القنبلة الهيدروجينية – ببعض الحسابات الرائدة الرائعة كما بيّن "جورج جامو" ومساعدوه كيف ينتج الهليوم من الهيدروجين ، واستطاعوا أن يدركوا كيف يمكن الحصول على كميات ضئيلة من الليثيوم والبريليوم والبورون بأعدادها الذرية ثلاثة وأربعة وخمسة على الترتيب ، لكن الجهود المبكرة لصياغة نظرية شاملة عن التخليق النووى وصلت إلى طريق مسدود، فلا يوجد أنوية مستقرة لها أوزان ذرية خمسة أو ثمانية ، ويمكن لسلسلة من تفاعلات الاقتناص النووى أن تنتج نظائر الهيدروجين والهليوم ولكن لا شيء أثقل من ذلك، وتنتهى سلسلة تفاعلات الأنوية المشحونة التى تبدأ باندماج بروتون مع بروتون بعنق زجاجة عند الكتلة الذرية خمسة، وتستطيع نواتا هليوم أن تندمجا لتكونا نواة البريليوم[1] ^{8}Be لكن مثل هذه النواة ستتحلل ثانية إلى أنوية الهليوم خلال 10^{-16} ثانية فقط! إذن كيف خلقت العناصر الأثقل من الهليوم ؟ ولو كانت الطبيعة غير قادرة على حل هذه المعضلة لما وجدت الحياة .

ولقد وجد "إدوين سالبتر" (Edwin Salpeter) من جامعة كورنيل و"فريد هويل" (Fred Hoyle) (الذى كان موجوداً فى معهد كاليفورنيا التقنية فى هذا الوقت) – الإجابة ، فقد افترضا أنه فى قلب النجم الكثيف كمية كافية من أنوية ^{8}Be قد تتفاعل مع أنوية الهليوم قبل التحلل مكونة أنوية مستقرة من ^{12}C (كربون–١٢)، وأشار هويل أن هذا التفاعل يسير بسرعة فقط فى حالة وجود الكربون –١٢فى حالة نووية مثارة لم تكتشف من قبل ، ثم يتحلل ليكون ^{12}C المستقر ، وسرعان ما أيدت التجارب صحة هذه الآلية ، وكان اكتشاف الحالة المثارة التى تنبأ بها هويل هى الخطوة الأولى فى سلسلة طويلة من النجاحات فى الفيزياء النووية الفلكية .

وعندما تصل سلسلة تفاعلات الاندماج فى نجم إلى عنصر الكربون –١٢ فمن المفروض ألا يكون هناك مانع جوهرى لإنتاج كل العناصر حتى الحديد، ولكن آلية

(١) إن الرقم ٨ أمام العنصر على الوزن الذرى النواة التى تحتوى فى هذه الحالة على أربعة بروتونات وأربعة نيوترونات

احتراق الهليوم المكتشفة بواسطة سالبتر وهويل لم تكن لتصلح في الكون المبكر، وهناك مشكلة أساسية وهي أنه للحصول على عناصر أثقل ثم أثقل فإن ذلك يتطلب درجة حرارة أعلى ثم أعلى . وهذا صحيح حيث إن التنافر الكهربي بين الأنوية الأثقل يكون أكبر لأن بها بروتونات أكثر : ولذا فإن الأمر يحتاج إلى سرعة تصادم أعلى حتى يمكن التغلب على حاجز التنافر، ولكن في طور متطور متمدد فإن درجة الحرارة تنخفض بدلاً من أن ترتفع ، وعليه فلا توجد وسيلة لعمل سلسلة من التفاعلات تؤدي إلى أنوية أثقل ثم أثقل تحت هذه الظروف ، وكذلك فإن معدل تخليق عناصر مثل الكربون أو الأكسجين يعتمد على كثافة الهليوم الموجود، وفي مرحلة الصدمة الكبرى عندما تسمح درجة الحرارة بمثل هذه التخليقات النووية (حيث لا تكون درجة الحرارة عالية جدا وإلا فإن الأنوية الناتجة سوف تتكسر فور تكوينها) كما أن الهليوم الموجود عندئذ يكون أقل بكثير من الموجود في قلب النجم الغني بالهليوم .

وللنجم كبير الكتلة تركيب معقد من طبقات غازية تشبه في تركيبها البصلة عديدة الطبقات ، وعند درجات حرارة النجوم توجد كل العناصر في الطبقات الخارجية، على شكل بلازما (غازات ساخنة ذات شحنة كهربية) . ولقد صمم علماء الفيزياء الفلكية نموذجًا معقداً بالكمبيوتر للاحتراق النووي لهذه النجوم عديدة الطبقات، واستطاعوا حساب وجود العناصر باستخدام معدلات تفاعلات الاندماج النووي المقاسة بدقة في المعمل، وبمعنى آخر يستطيعون التنبؤ بكمية الكربون الموجود بالنسبة للأكسجين ، وكذلك الكبريت بالنسبة للحديد وهكذا، وتتفق هذه التنبؤات بدرجة معقولة مع نسب الوجود في الشمس – ولعله من الصعب أن نتوقع توافقًا تامًا نظراً لأن الحسابات المستخدمة غاية في التعقيد، ولأن الكتلة الأصلية للنجم تؤثر بدرجة كبيرة على خليط العناصر الناتج – وليس لدينا الكثير من المعلومات عن نسبة النجوم المتفجرة في كل مرحلة، ولا نعرف أيضاً بالضبط مقدار عناصر مجموعة الحديد المطرودة عندما تفنى النجوم ، كما لا ندري أيضاً كم من هذه العناصر اقتنص في بقايا النجوم النيترونية أو الثقوب السوداء ، وعلى أية حال فإن هذا التوافق كافٍ لدرجة كبيرة لإقناع معظم الفلكيين بأن مادة الشمس طبخت في الواقع في نجوم أكبر تحولت بدورها إلى مستعر أعظم .

ومن تلك الدراسات النظرية هناك نتيجة أخرى مدهشة ، وهي أنه من المحتمل أن انفجارات المستعر الأعظم القليلة نسبياً للنجوم ذات الكتلة الكبيرة جداً (كتلتها أكبر من الشمس بمائة ضعف) هي المسئولة عن تكوين معظم العناصر المعروفة بعد الهليوم . وقد يعزى حتى وجودنا ذاته إلى نجم معين انفجر من خمسة بليون سنة في مجرتنا درب اللبانة . ولولا وقوع هذا الحادث العنيف لما وجد إلا القليل جدا من العناصر الثقيلة في مجموعتنا الشمسية اللازمة لتطور الحياة ، وحتى لما وجدت المعادن .

ومن الأمور الغريبة لهذه الدراسات أن العناصر الثقيلة التي تكونت بمشقة في المراحل المتأخرة لتطور النجوم قد تتفتت وتعود إلى عنصر الهليوم مرة أخرى أثناء الانفجار، ولكن لحسن الحظ تظهر الحسابات أنها تتكون مرة أخرى عند نشوء موجة الصدمة (Shock Wave) أثناء انفجار المستعر الأعظم، وكدليل آخر على أننا توصلنا إلى الموقع الصحيح لتخليق الأنوية هو أن نظرية نجم – مستعر أعظم، تتطلب أن تكون العناصر الخفيفة : البريليوم والبورون والليثيوم- ٦ (^{6}Li) نادرة جدا ، حيث إن سلسلة التفاعلات الاندماجية تتجنب هذه العناصر . وفي الحقيقة فإن نسبة وجود هذه العناصر أقل من تلك المعروفة كالكربون أو النيتروجين بآلاف المرات ، حتى إن البعض لم يسمع عنها قط ، ويمكن أن نفسر انتشار هذه العناصر جيداً بأن جزءاً صغيراً منها يتكون خلال الانفجار الرهيب وأيضًا من تصادم البروتونات سريعة الحركة ونوايا الهليوم مع المادة الموجودة بين النجوم في المجرة .

وماذا عن عناصر ثقيلة مثل الحديد أو أثقل ؟ بعضها ضروري للحياة وموجود إلى حد ما في الأرض . وتتكون فلزات مثل الكروم والمنجنيز والكوبلت والنيكل وكذلك الحديد في قلب نجم عملاق عند درجات حرارة فائقة، ولكن أشعة جاما ذات الطاقة العالية تحطم هذه الأنوية إلى أنوية الهليوم بنفس السرعة التي تتكون بها تقريبًا، وحيث إن طاقة الربط لكل نيوكليون في نواة الحديد-٥٦ أعلى من طاقة ربط أي نواة أخرى ، لذا فهي أكثرها ثباتًا . وعليه وحتى هذه اللحظة فإن العناصر الأثقل لم تتكون من تأثير الطاقة المنطلقة المصاحبة للتفاعلات الاندماجية المنشطة للنجم، إذن كيف للعناصر الكثيرة الأثقل من الحديد أن توجد ؟

يتطلب إنتاج العناصر الثقيلة بالنجم ما يعرف "باقتناص النيوترون" . فحيث إن النيوترونات غير مشحونة كهربيا فمن الممكن أن تخترق نواة الذرة دون أن تتنافر، ومن الممكن أن يتكون المئات من الأنوية الثقيلة المختلفة سواء المستقرة أو غير المستقرة عن طريق عمليات اقتناص متتالية للنيوترونات إلى أن يصل إلى عنصر الرصاص عند الرقم الذرى ٨٢ ، وإذا لم يتوافر العدد الكافى من النيوترونات فكل الأنوية غير المستقرة (المشعة) تقريباً سوف تتحلل فى فترة تتراوح ما بين ثوانٍ وشهور معطية إلكترونات سالبة الشحنة قبل أن تتمكن من اقتناص نيوترون آخر، ويعطى كل تحلل مثل هذا نواة جديدة رقمها الذرى يزيد بواحد عن النواة الأصل ، وربما تقتنص النواة المستقرة المتكونة نيوتروناً آخر وهكذا ليتواصل تكوين سلسلة العناصر، ومن الممكن بهذه الطريقة أن تتكون سلسلة طويلة من العناصر أثناء تطور النجوم ، وحيث إن النيوترونات لا توجد بكثرة فى النجوم لأن التفاعلات الاندماجية الرئيسية لا تنتج منها الكثير ؛ فإن كمية مادة العناصر الثقيلة المتكونة عن طريق اقتناص النيوترونات داخل النجوم أقل بكثير من كمية العناصر الخفيفة، وحيث إن الوقت اللازم لعمليات اقتناص النيوترونات فى النجوم طويل إذا ما قورن بالزمن القصير الذى يستغرقه انفجار مستعر أعظم لذا تسمى هذه العملية (S-Process) حيث S هى أول حرف من كلمة (slow) أو بطيء ، وعلى كلٍ فهذه العملية ليست بالتفسير الوحيد لتكوين العناصر الأثقل من مجموعة الحديد ؛ أولاً : لأن الكثير من النظائر المستقرة لا يمكن أن تتكون بهذه الطريقة إطلاقًا حيث إن سلسلة اقتناص النيوترونات والتحلل بفقد الإليكترونات تتجنبها. ثانيًا : لا تتفق نسب انتشار هذه النظائر التى تتكون بالعملية المذكورة (S process) بالمرة مع النسب المقاسة فى الشمس .

ويزودنا الزمن المتساوى القصير لانفجار المستعر الأعظم بطريقة دقيقة للخروج من هذه المعضلة، فهذا الزمن أقل كثيراً من الزمن اللازم لتحلل عناصر الأنوية الثقيلة، وبذلك فإن سلسلة من العناصر يمكن أن تتكون من عمليات قنص سريعة ومتتالية للنيوترونات فى المرجل النووى العنيف لانفجار المستعر الأعظم، ففى الوقت الذى يتطابق فيه بعض هذه الأنوية الناتجة عن العمليات السريعة r- (r for rapid) مع أنوية معينة ناتجة من العملية البطيئة (S) ، فإن الكثير منها يختلف، ويمكن أن تقع مستواية

تكوين كل النظائر المستقرة المعروفة حتى عنصر اليورانيوم -٩٢على عاتق هاتين الآليتين المذكورتين ، أما القلة القليلة من الأنوية التى لا يمكن أن تتكون نتيجة القذف بالنيوترونات أو عن طريق التحلل بأشعة بيتا ، فإن تكونها يمكن أن يعزى إلى القذف البروتونى أثناء انفجار المستعر الأعظم .

وبالرغم من أن هناك بعض التفاصيل التى لم تستكمل بعد ، فإن العلماء يعتقدون أنهم قد أزاحوا الستار عن المخطط الأساسى لتطور المادة ، فالعناصر الخفيفة تتكون فى الكون المبكر وداخل النجوم ، أما الانفجارات العملاقة للمستعرات العظمى والتى تحدث من حين لآخر فى المجرات ، فإنها تطهو العناصر الثقيلة وتقذف بها فى الفضاء ، ومن شظايا هذه النجوم المفتتة تتكون نجوم جديدة .

الفصل الثالث عشر

حياة وممات النجوم

تمثل المستعرات العظمى الأحداث العنيفة المصاحبة لنهاية حياة النجوم ، التى هى قدر محتوم لبعضها وليس لأغلبها ، وتعيش معظم النجوم فى اتزان مستقر لكنه متوتر؛ فالجاذبية تشدها إلى الداخل بقوة هائلة ناشئة عن كتلتها الضخمة ، ويقوم ضغط الغاز الساخن الناتج عن التفاعلات النووية الحرارية فى قلب النجم والموجه إلى الخارج بمعادلة شد الجاذبية ، وتمارس الغازات كلها بما فيها الغلاف الجوى للأرض ضغطاً نتيجة للتصادمات العشوائية للذرات أو الجزيئات سريعة الحركة ، وترتفع درجة الحرارة داخل النجم كثيراً جدا عن درجة حرارة غلافنا الجوى ، وتتسبب هذه الحرارة الكبيرة فى سرعات تصادم عالية مؤدية إلى ضغوط حرارية قادرة على التحمل لدرجة أنها تستطيع مقاومة قوى الجاذبية الساحقة لنجم كثيف الكتلة ، وهناك إتزان حتى فى النجوم الميتة المحترقة المسماة بالأقزام البيضاء ، تتعادل الجاذبية فى هذه الحالة مع القوة الناشئة من مبدأ المنع أو الإبعاد (Exclusoir) فى ميكانيكا الكم الذى يتطلب عدم شغل إلكترونين لنفس الحالة .

وتبدأ حياة النجوم بالانهيار الجاذبى للسحب العملاقة الغنية بالهيدروجين الجزيئى، وتنتشر آلاف من هذه السحب التى تحتوى أيضاً على الغبار والهليوم فى جميع أنحاء مجرتنا. وتبلغ هذه السحب من الضخامة بحيث تزيد من ١٠٠ ألف إلى مليون مرة عن كتلة شمسنا. ويصل القطر النموذجى لشاتل هذه النجوم إلى ما يربو على ١٠٠سنة ضوئية ، وتكون مثل هذه النجوم باردة ومعتمة وغير مستقرة ، وفى درجات حرارتها المنخفضة التى قد تصل إلى ١٠ درجات فوق الصفر المطلق لا يكاد يوجد أى ضغط يقاوم الجاذبية ، فيتسبب أى اضطراب بسيط نسبيا فى بداية انهيار

لا رجعة فيه إلى الداخل ، وقد يتسبب التصادم مع سحابة أخرى فى تنشيط هذا الانهيار، كما يمكن أن يحدث ذلك نتيجة انفجار مستعر أعظم قريب أو موجة كثافة تمر عبر المجرة ، وكل هذه الأحداث قد تتسبب فى موجات أسرع من الصوت تضغط الغاز فى بعض المواقع لتكوين كتل يميل اتزان القوى فيها نحو الانهيار .

وعندما تنهار سحب الغاز والغبار إلى الداخل ، فإنها تصبح ما يسمى أصل نجم (Protostar) ، وعندما تتكون أصول النجوم فإن كثافتها العالية تواصل جذب المزيد من الغازات والغبار، وتنتج كل مرحلة من مراحل الانهيار حرارة نتيجة تحول طاقة الجاذبية إلى طاقة حرارية، لكن التسخين يرفع من الضغط مما يبطئ الانهيار، ولم يشاهد أحد العملية الكاملة لميلاد نجم ، لكن النماذج الكمبيوترية أظهرت أنها قد تستغرق من آلاف إلى ملايين كثيرة من السنوات معتمدة على كتلة الغاز المستخدم ، وحيث إن أصول النجوم الأثقل تولد تسارعاً جاذبيا أكبر ، فإنها تدور أسرع، وأخيراً ترتفع بشدة درجة الحرارة إلى عدة ملايين درجة مشعلة التفاعلات النووية الحرارية ، عندئذ يكون قد ولد نجم .

وعندما يشتعل الفرن النووى للنجم ، فإن الضغط الحرارى المتزايد سرعان ما يوقف انهيار النجم ويعضد من حالة الاتزان ، وعند هذا الاتزان قد يحترق النجم بهدوء لبلايين السنين ، وقد لاحظ الفلكيون العديد من مجموعات من نجوم ما زالت فى المهد محاطة بسحب ضخمة من الهيدروجين ، أما النجوم ذات الكتلة الأكبر فإنها تحترق بتوهج أكبر (اللمعان الذاتى) ودرجة حرارة سطحها أعلى، وتتسبب الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من هذه النجوم كبيرة الكتلة فى تأين الهيدروجين المحيط مكونة غمامة مائلة إلى الاحمرار داخل سحابة جزيئية داكنة أكبر كثيراً، إن أكثر المناطق فى السماء جمالاً تكونت بهذه الطريقة وأهمها أشد السُدُم توهجاً - الجوزاء (Orion) والعقاب (Eagle) والبجعة (Swan) وثقب الباب (Keyhole) والعذراء (Madonna) والوردية (Rosette) .

وسوف تواصل النجوم الأول الأقل كثيراً فى كتلتها من الشمس احتراقها بثبات لعشرات ، بل لمئات البلايين من السنين لزمن أكثر بكثير من عمر الكون حتى اليوم .

وإذا كان الكون مغلقاً ومقدراً له أن ينهار على نفسه، فإن بعضاً من هذه النجوم سوف تظل يحترق حتى يستهلك ، وربما يتقطع إرباً إلى أن يصير على شكل "مضغة كبيرة" (Big Crunch) . وبصرف النظر عما يحدث للكون - الاختيارات التى سنناقشها فيما بعد - فإن اتزان احتراق الهيدروجين محتم له أن يأتى إلى نهايته، وإن عاجلاً أو آجلاً فإن مخزون الهيدروجين فى قلب النجوم سوف يستهلك، وفى النجوم العملاقة المحترقة بشدة ، والتى تزيد كتلتها خمساً وعشرين مرة عن الكتلة الشمسية ، سوف يجىء هذا اليوم الموعود بعد بضعة ملايين قليلة من السنوات من ميلاد النجم، ولكن على النقيض من ذلك بكل تأكيد فإن عمر شمسنا يصل إلى حوالى ١٠ بلايين سنة (+ القليل من البلايين) وهذا يتوقف على النموذج الكمبيوترى المستخدم .

ولمدة تناهز الخمسة بلايين سنة ، فإن الهيدروجين المحترق يعطى الشمس القوة، ولكن عندما تقترب النهاية فإن الهيدروجين الموجود فى قلب الشمس سوف ينفد ، وبالتبعية تصبح الطبقة الخارجية للنجوم فى وضع يصعب عليها مقاومة ضغط الجاذبية ، وعندما تضغط تلك الطبقات على الطبقات التى تحتها فالضغط الناتج وطاقة تقلصات الجاذبية ستتسبب فى رفع درجة الحرارة ، أما الهيدروجين الموجود فى الغلاف خارج قلب الشمس مباشرة فإنه سوف يسخن إلى الدرجة التى تشعل التفاعلات الاندماجية ، وهذه الحرارة مع تلك الناتجة من التقلصات بقلب الشمس سوف تسخن الغاز فى الطبقات المحيطة التى بدورها سوف تتمدد بشكل هائل مكونة نجماً عملاقاً ، وفى حالة شمسنا فإن حجمها سوف يزداد لدرجة أنها ستغلف كل مدار الزهرة على الأقل مهددة أى مظهر للحياة يمكن أن يوجد فى المنطقة الداخلية للمجموعة الشمسية .

وعندما يسخن قلب النجم إلى درجة حرارة ١٠٠ مليون ؛ فإن الهليوم يبدأ فى الاحتراق مكوناً أنوية الكربون ، وفى حالة نجم منخفض الكتلة نسبيا مثل الشمس ، فإن احتراق الهليوم سوف يبدأ بعد حوالى بليون سنة مكوناً الحالة الحمراء العملاقة ، وربما يحدث عدم استقرار وانفجارات بسيطة فى المستقبل البعيد لشمسنا ، ولكنها لن تتحول إلى مستعر أعظم ، وتدريجيا كلما استنفد الهليوم الموجود فإنها سوف تنكمش لتكون نجما محترقاً يسمى قزماً أبيض .

أما بالنسبة للنجوم الأكبر ، فتلك قصة أخرى، فما يحدث هو سيناريو مثالي يؤدي إلى انفجار مستعر أعظم، فعند انتهاء كل مرحلة احتراق – تؤدي إلى نفاد الوقود – فإن التقلصات تتسبب في اشتعال طور آخر من الاحتراق متطلباً درجات حرارة أعلى للتغلب على التنافر بين الأنوية الأثقل والأعلى شحنة ، فالكربون يحترق ليكون النيون الذي يحترق بدوره مكوناً الأكسجين ، ثم الكربون والأكسجين يمكن أن يندمجا ليكونا السليكون ، والأكسجين يمكن أن يتحد مع أكسجين آخر مكوناً الكبريت وهكذا .

وفي النهاية وباحتراق السيليكون تتكون نواة ^{56}Fe ، وهذه النواة مترابطة بقوة لدرجة أن أي تفاعل معها سينتج عنه امتصاص طاقة بدلاً من انطلاقها ، وفي حالة النجم كثيف الكتلة عندما يتكون الحديد في قلبه فإن النهاية تكون قريبة ، ويتشابه التركيب الداخلي للنجوم المقدر لها هذا المصير مع تركيب البصلة، حيث يوجد الكبريت والسليكون على شكل لفائف تحيط بقلب النجم يتبعها طبقات من الأكسجين والكربون والهليوم ثم يأتي الهيدروجين في الغلاف الخارجي .

وأما الشيء المثير للدهشة فهو أن المرحلة الأخيرة لاحتراق السليكون في نجم كثيف – الذي يعيش لعدة ملايين من السنوات – تستغرق يوماً واحداً، وعندما يضاف الحديد إلى قلب النجم فلا يحدث بعد ذلك أي تفاعلات نووية أخرى، وتتسبب زيادة كتلة قلب النجم في زيادة قوة الجاذبية إلى مستويات فائقة الارتفاع ، ولا يصاحب ذلك زيادة في الحرارة لتعادل الضغط للخارج، وضغط الإلكترونات هنا هو السبيل الوحيد لإنقاذ قلب النجم من الانهيار، وكما ذكرنا سالفاً فإن هذا النوع من الضغط مطلوب حسب نظرية الكم في الفيزياء، والتي تنص على أنه "لا يمكن لإكترونين أن يشغلا نفس الحالة". عند هذه المرحلة من تطور النجم فإن المسافة البينية بين الذرات تنضغط تماماً، وأي زيادة أخرى للحديد في قلب النجم ستزيد الضغط إلى مستوى يصعب معه للإلكترونات أن تتحمله، وخارج القلب الحديدي يواصل السليكون احتراقه منتجاً الجزء الطفيف من الحديد الذي سيسبب الانهيار المروع فينضغط قلب النجم الحديدي كله – الذي تفوق كتلته كتلة الشمس مرة ونصف – إلى الكثافة النووية ، وتشير النماذج الكمبيوترية إلى أن الزمن اللازم لهذه العملية يستغرق أقل من ثانية واحدة ! .

وفي أثناء الانهيار تختفي كل الإلكترونات في النهاية حيث تتحد مع البروتونات لتكون نيوترونات، وربما يصبح الجزء المركزي لقلب النجم نواة منفردة ضخمة أو نجماً نيوترونيا يصل نصف قطره إلى بضعة كيلومترات، وكثافته كبيرة لدرجة غير معقولة حوالي ٣×١٠^{١٤} جم/سم^{٣} ؛ أي ملء ملعقة من مادة كهذه قد تزن ما يعادل تقريباً عشرة آلاف سفينة كبيرة ، والأسوأ من هذا للنجم أن مثل هذه المادة غير قابلة للانضغاط على الإطلاق، ويظل باقي قلب النجم يتساقط إلى الداخل بسرعة عالية مرتطماً على القلب النيتروني وينفجر إلى الخارج محدثاً موجة صدمة قوية ، وطبقاً المحاكاة الكمبيوترية فإن سرعة هذه الموجة حوالي ٥٠ ألف كيلومتر/ثانية ؛ أي سدس سرعة الضوء .

ولعل المرء يتساءل لو تصورنا أن إنساناً آلياً (Robot) يراقب هذه الأحداث (مسلحاً ربما بحلة مصنوعة من مادة أكثر تحملاً من التي يرتديها الباحثون لأعماق المحيطات) وقادر بطريقة ما على تحمل الجاذبية الهائلة والحرارة الملتهبة لقلب النجم فماذا بالضبط سيرى هذا المشاهد ؟ حيث إن كثافة المادة في قلب النجم عالية جداً، وهي أساساً لا تسمح للضوء بالاختراق، لذلك فإنه لن يرى شيئاً، وحيث إن الطبقات الخارجية للنجم لا تتأثر أول الأمر ، فإن المشاهد من خارج النجم لن يرى شيئاً غير عادي هو الآخر لبضع ساعات بعد انهيار قلب النجم .

والذي يحدث بعد ذلك أمر محير، فإن الموجات الصدامية (Shock Waves) تتسارع إلى الخارج مخترقة الطبقات المختلفة للنجم العملاق ، ومن الممكن أن تفجر مسارها إلى الخارج خلال الطبقات محطمة النجم إلى أجزاء، ومبعثرة معظم أشلائه إلى الخارج في الفضاء بسرعة مذهلة ، أو قد تتوقف موجة الصدام برهة بينما تسقط كتلة النجم إلى العمق ، وأحد الاحتمالات في هذه الحالة هو تكون ثقب أسود عندما تزيد جاذبية المادة المتساقطة عن الحد الذي لا يسمح للضوء بالهرب منها، وإذا كانت الكتلة الأصلية للنجم كبيرة بما فيه الكفاية ، فإن الثقب الأسود يمكن أن يتكون في مرحلة سابقة في قلب النجم المنهار، وفي اللحظة التي تندفع فيها موجة الصدمة خلال سطح النجم ، فإنه يتمدد بشكل هائل ليصبح كرة ساطعة ذات بريق يتزايد بسرعة ، وعندما تنفذ الموجة الصدامية إلى الطبقات الخارجية للنجم ، فإن التسخين الناشئ يفجر تفاعلات نووية

جديدة مكونة عناصر أثقل من الحديد ومسببة تحللاً إشعاعيا يطيل زمن الانفجار، وتتطلب الحسابات الكمبيوترية - لما يحدث أثناء انفجار المستعر الأعظم - برامج أكثر تعقيداً عادة على أجهزة كمبيوتر أكثر قوة ، وكلما زادت معرفة النظريين وزادت القوة الكمبيوترية ، استطاعوا احتواء تفاصيل أكثر وأكثر داخل برنامجهم مثل تأثير الحمل الحرارى أثناء الانفجار (يمكنك أن تتصور هذه الدوامة الهائلة من الحرارة غير المنتظمة مثل تلك التى تسلكها دوامات الهواء الساخن المنتشرة من مدفأة داخل حجرة) ، ولقد أظهرت الحسابات الحديثة أن الحمل الحرارى يساعد اندفاع موجة صدمة المستعر الأعظم داخل النجم كثيف الكتلة الذى انهارت طبقاته الداخلية .

وبالرغم من أن موجة الصدام تحمل بوضوح كمية هائلة من الطاقة ، فإن الجزء الأكبر من الطاقة المنطلقة بواسطة المستعر الأعظم (حوالى ٩٩ ٪) تأخذ شكلاً آخر تماماً، فعند اتحاد الإلكترونات فى القلب الحديدى مع البروتونات يتولد مع كل تفاعل مثل هذا نيوترينو نشط، والنيوترينوات جسيمات صغيرة جدا ذات كتلة فى غاية الضآلة أو = صفراً (إلا أن الفيزيائيين غير متأكدين من ذلك) وتلعب دوراً مهما فى تفككات معينة، وتتداخل هذه الجسيمات مع المادة بشكل ضعيف جدا ، ونتيجة لهذا فإنها تستطيع أن تنفذ بسهولة خلال سمك عظيم من المادة ككل الأرض مثلاً، وعندما ينهار نجم فإن عاصفة من النيوترينوات تتطاير إلى الخارج خلال طبقاته بسرعة الضوء (أو بسرعة أقل إذا كانت النيوترينوات ذات كتلة صغيرة)، وعندما تندفع النيوترينوات من القلب المنهار ، فإن الطاقة المفقودة تتسبب فى هبوط الضغط أكثر، مما يسرع من الانهيار .

وعندما أعلن الفلكيون عن المستعر الأعظم A ١٩٨٧، نقب العلماء فى المعامل الكبيرة الموجودة تحت الأرض المخصصة لرصد الجسيمات ليعثروا على أى دليل على عاصفة النيوترينوات ، وقد وجدوا أن أكثر جهازين حساسية فى العالم لرصد النيوترينوات قد سجلا دفعة قوية من النيوترينوات قبل رؤية العلامات الأولى للمستعر الأعظم ، ويوجد أحد هذين المرصدين فى منجم ملح تحت بحيرة إيرى ، والآخر فى منجم رصاص باليابان ، وهما عبارة عن صهاريج هائلة من الماء محاطة بأنابيب مضخمات ضوئية (Photomultiplier tubes) وقد رصدت هذه الأنابيب إشعاعات

سيرنيكوف الزرقاء الناتجة عن جسيمات مشحونة تتحرك بسرعة أسرع من سرعة الضوء فى الماء (ولكن أبطأ من سرعة الضوء فى الفراغ)، وتنتج مثل هذه الجسيمات من تداخل واحدة من كل $١٠^{١٧}$ نيوترينو تقريباً مع الصهاريج، ومع أنه قد تم تسجيل ١٩ نيوترينو فقط ، فإن هذا الرقم يعتبر نموذجيا لما يمكن توقعه من مستعر أعظم على مسافة ماجلان الكبرى مطلقاً طاقة كلية تبلغ $١٠^{٤٦}$ جول تقريباً ، ومن هذه المشاهدة الرائعة تمكن علم الفلك الحديث من النفاذ إلى قلب نجم متفجر أكثر عمقاً كما لم يكن من الممكن تصوره إطلاقاً، وقد تأكدت فكرة أن قلب النجم يمكن أن ينهار.

ومن دواعي السخرية أن الانهيار قد يؤدي إلى انفجار، وتحدث ظاهرة مماثلة عندما تتحطم أنبوبة الصورة فى التليفزيون ، فضغط الهواء خارج الأنبوبة أكثر كثيراً من داخلها ، وتتدافع شظايا الزجاج إلى الداخل فى البداية، ولكن البعض قد يرتد مشكلاً خطورة ، ومن الواضح هنا أن مصدر طاقة الانفجار هو حركة جزيئات الهواء ، وفى حالة النجم الذى ينهار فإن مصدر الطاقة هو الجاذبية - طاقة الجاذبية للطبقات الخارجية فى النجم - وتعرف المستعرات العظمى التى يعتقد أنها تتكون نتيجة الانهيار بالنوع II ، وحيث إن للنجوم الأصلية طبقات خارجية من الهيدروجين غير المحترق، فإن الفلكيين يتوقعون أن يشاهدوا خطوط طيف الهيدروجين عندما يرصدون مستعراً أعظم من النوع II ، ويشاهد الفلكيون عادة مثل هذه المستعرات العظمى فى أذرع المجرات الحلزونية المعروفة بكثرة النجوم الشابة ذات الكتلة الكبيرة ، لكن الكثير من المستعرات العظمى لا تُظهر أى خطوط لطيف الهيدروجين ، فإذا لم تكن هذه المستعرات العظمى قد تكونت بالانهيار، فما الذى فجرها ؟ يعتقد الفلكيون أن نجومها الأصلية هى أقزام بيضاء .

وعلى عكس النجوم الثقيلة ، فإن الأقزام البيضاء شائعة جدا ، وكما أشرنا سابقاً، فإنها بقايا احتراق النجوم القريبة من كتلة شمسنا ، وتفتقر هذه النجوم للهيدروجين لأنه استهلك كله، ولا تقوم التفاعلات النووية بإمدادها بالطاقة من داخلها ، لكن البعض ما زال يملك حرارة متبقية من أيامها المزدهرة لتتوهج بخفوت ، ومن أقرب النجوم إلى مجموعتنا الشمسية الشعرى B (Sirius B) وهو قزم أبيض نموذجى ، ويقال لمادة القزم الأبيض أنها متهالكة ، أى أن ضغطها الهائل لا يأتى من الحرارة بل من

الإليكترونات في حالة الانهيار، الأمر الذي يجعلها تختلف كثيراً عن حالة الذرات العادية ، ومادة الأقزام البيضاء كثيفة لدرجة أن ملء ملعقة يزن أطناناً كثيرة ، وإذا تركت لحالها فإن الأقزام البيضاء ستبرد على مدى بلايين السنين حتى تتوقف عن التوهج وتقترب درجة حرارتها من الصفر المطلق .

وتصبح الأقزام البيضاء غير ذات أهمية وليس لها استخدام بالنسبة لعلماء المستعرات العظمى النظريين لولا أن الكثير منها يمثل جزءاً من أنظمة ثنائية (نجمين)، وفي بعض الحالات يكون النجمان اللذان يدوران حول بعضهما بعيدين جدا بحيث لا يتبادلان المادة فيما بينهما، وفي أنظمة ثنائية أخرى ، مع ذلك ، يمكن أن تسقط كمية كافية من المادة من النجم المرافق على سطح القزم الأبيض ، وتصبح هذه الخاصية التي تسمى تزايد الكتلة (Mass Accretion) أكثر احتمالاً إذا تحول النجم المرافق إلى عملاق أحمر، وقد رصد الفلكيون بعض هذه الثنائيات عند حدوث كسوف نجم فيها للآخر، وتدل فترة الدوران الصغيرة التي قد تصل إلى بضع ساعات على أن النجمين قريبان من بعضهما ، حتى إنهما يؤثران في شكل بعضهما البعض بواسطة قوى المد، وعلى هذه المسافة القصيرة من بعضهما من السهل إدراك كيف ينتزع أحدهما المادة من سطح مرافقه .

ويتسبب سقوط الكتلة على سطح القزم الأبيض في زيادة فرصته في حياة جديدة، ولكن يعد المسرح لاحتمال موت عنيف ، ويستطيع الهيدروجين والهليوم أن يشكلا طبقة سطحية يمكن أن تشتعل فيها التفاعلات النووية الحرارية، وقد يحدث هذا الاحتراق بشكل متفجر مؤديا إلى طرد غلاف من الهيدروجين ، ومثل هذه الحالة هي النجوم الجديدة (Novae) الشائعة التي كان يخلط سابقا بينها وبين المستعرات العظمى (Supernovae) ولا تؤثر انفجارات النجوم الجديدة على المنطقة الداخلية للأقزام البيضاء، وبذلك يمكن أن يتكرر حدوثها مرات عديدة ، لكن ، مع ذلك ، هناك حد لكمية الكتلة التي يمكن أن يستقبلها القزم الأبيض، وقد اكتشف هذا الحد بواسطة الفلكي الفيزيائي "سوبراهمانيان تشاندراسيخار" (Subrahmanyan Chandrasekhar) من جامعة شيكاغو، ووجد أنه حوالي ١.٤ كتلة شمسية ، وفوق هذا الحد فإن ضغط المادة المتهالكة لا يتمكن من دعم كتلة النجم .

وإذا حدث واقتنص القزم الأبيض كتلة كافية من رفيقه القريب في النظام الثنائي ليتخطى الحد المسموح، يكون قد وصل إلى قدره المحتوم ، ويرتفع الضغط في داخله مؤدياً إلى ارتفاع صاروخي في درجة الحرارة ، وتندمج أنوية الكربون والأكسجين بمعدلات عالية ، ولأن معظم المادة ما زال متهالكاً ، فإن النجم لا يستطيع أن يتمدد تدريجيا أو يحترق بثبات ، وبدلاً عن ذلك فإن التفاعلات الاندماجية تحدث بسرعة خلال مرحلة احتراق السليكون في انفجار نووي حراري مهول ، والنتيجة هي مستعر أعظم من طراز I ، وينعدم الهيدروجين أو لا يوجد إلا القليل منه، وبالرغم من تفاؤل بعض الفلكيين في أن المستعرات العظمى من طراز I قد تم تفسيرها : فإن هناك غموضاً في أمور رئيسية : ما هي طبيعة الانفجار بالضبط ؟ ما هي طبيعة انتقال الكتلة أو اندماجها ؟ لماذا لم يكتشف حتى الآن نظام نجمي ثنائي به قزم أبيض يكون من الصغر بحيث يندمج خلال عمر الكون ، وكتلته من الكبر بحيث يشعل انفجار مستعر أعظم ؟

وكلا النوعين من المستعرات العظمى : الأول الذي يفتقر الدليل على وجود الهيدروجين ، والثاني الذي يحتوي عليه – يتسببان في ثوران رائع في السماء أدهش البشر لآلاف السنين ، وحتى الآن لم تفسر أي من هاتين الصدمتين العظميين والمحيرتين، لكن الفلكيين كلهم ثقة أنهم على الدرب الصحيح ، ويبدو أن الانفجارات من النوع الأول التي تحطم الأقزام البيضاء ذات الكتلة الثابتة ١.٤ كتلة شمسية هي الرهان الأكبر (على الأقل حتى قريب جدا) لقياس الكون وتحديد قدره ، أما انفجارات النوع الثاني فإنها تحطم نجوماً أصلية أكبر كثيراً .

الفصل الرابع عشر

الذرية الغريبة للمستعرات العظمى

من كل مناظر السماء الجميلة بالليل هناك شيء واحد تعلم منه معظم علماء الفيزياء الفلكية ، ألا وهو سديم السرطان، إنه يقع على بعد ٦٣٠٠ سنة ضوئية داخل مجرة درب اللبانة في الذراع المغزلي إلى الخارج من الذراع الذي نوجد نحن به، ويعتبر السرطان أوضح وأفضل ما درس كبقايا مستعر أعظم، فهو شظايا نجم كثيف الكتلة تحطم في الانفجار الهائل الذي شوهد في عام ١٠٥٤ ، ومنذ زمن ليس ببعيد احتار الفلكيون عندما شاهدوا بقايا خيوطه والغاز المنتشر منه وانبعاث الأشعة السينية وأشعة الراديو القوية، وقد استعار "نيكولاس مايال" (Nicolas Mayall) مقولة تشرشل عند وصفه الاتحاد السوفيتي حيث قال عنه : "إنه فزورة ملفوفة في لغز داخل أحجية" "A riddle rapped in a mystry inside an Enigma" ، وكما رفعت الأحداث التاريخية الستار الحديدي حول الاتحاد السوفيتي، فإن سلسلة الاكتشافات البارعة حولت سديم السرطان إلى أحسن مثال معروف لديناميكا مستعر أعظم .

وفي عام ١٧٤٥ اكتشف طبيب إنجليزي ثري وفلكي هاو يدعى "جون بيفيس" "John Bevis" رقعة باهتة من الصور في برج الثور، وكانت معتمة لدرجة عدم رؤيتها بالعين المجردة ، وهذه السحابة المنتشرة تصل إلى حوالي ١/٢٥ من الحجم الظاهري للقمر. ولقد اكتشف نفس هذه السحابة مستقلاً "تشارلز مسيير" (Charles Messier) سنة ١٧٥٨ ، وهو الذي نشر أول مصنف للأجسام السديمية، وفي الصور الحديثة التي التقطت بتلسكوبات ذات مقدرة فصل عالية لا يظهر السديم كسرطان ، ولكن "وليم بارسونز" (William Parsons) – الإيرل الثالث لمقاطعة روز – شبهه بحفرة صلبة بين

مختلفين ، ولم يكن اللورد روز أول من سمى السديم فقط ، بل كان أول من رسم خيوطه التى تشبه القش وذلك فى سنة ١٨٤٤ ، وبحلول العشرينيات من هذا القرن كشفت القياسات التى أجريت على مدى سنوات أن تلك الخيوط تتمدد إلى الخارج بسرعات كبيرة ، وفى الأربعينيات ربط الفلكيون بين برج السرطان "والنجم الصينى" الذى ظهر سنة ١٠٥٤ ، واقترحوا أن ظهور تلك الخيوط كان نتيجة انفجار مستعر أعظم ، وعند العودة إلى الوراء بمقياس الانتشار ١٥٠٠ كيلومتر/ثانية (بافتراض أن السرعة ثابتة) نجد أن الخيوط تتجمع فى نقطة بالقرب من مركز السديم فى سنة ١١٤٠ . هذا التوافق غير المتكامل يبرز أول غموض . لماذا يبدو أن حركة الخيوط متسارعة ؟

وفى سنة ١٩٤٩ اكتشف فلكى الراديو الأسترالى "جون بولتون (John Bolton) أن السرطان مصدر قوى لموجات الراديو ، ولكن، وخلافًا لما شاهده من مصادر أخرى لتلك الموجات ، فإن تجمعات الراديو تخفت ببطء عند تردد أعلى - ببطء أكثر عما لو كانت الأشعة منبعثة من غاز ساخن - وبطء الخفوت يعنى أن الكمية الكلية للطاقة المعنية كبيرة لدرجة مدهشة . والأمر المحير الثانى هو من أين جاءت كل طاقة الراديو، ولماذا لم تسلك إشعاعاتها المسلك المتوقع من غاز ساخن ؟ كذلك حدث اضطراب آخر للفلكيين فى سنة ١٩٦٤ عندما مر قمرنا أمام برج السرطان ، فقد لوحظ أن نصف طاقة الراديو عند بعض الترددات من برج السرطان تأتى من نجم خافت بالقرب من مركزه ، وكيف يستطيع نجم يبدو ظاهريا غير ذى قيمة أن يعطى مثل هذا الكم من الطاقة ؟ وفى سنة ١٩٦٣ وبواسطة صاروخ صغير يحمل جهاز رصد الأشعة السينية فوق الغلاف الجوى الخارجى تم تسجيل أدلة على أن سديم السرطان مصدر قوى للأشعة السينية ، وقد زادت هذه النتائج معضلة الطاقة ارتباكًا.

وفى الخمسينيات من هذا القرن عرض فلكى الفيزياء الروسى " يوسف شكلوفسكى " (Iosif Shklovskii) حلاً للغز طاقة الراديو لبرج السرطان. اقترح هذا العالم أن هناك خاصية معروفة جدا للفيزيائيين المهتمين بتسارع الجسيمات تطفى على الجزء الأوسط للسديم ، فعندما تتحرك الإلكترونات ذات الطاقة العالية مغزليا فى المجال المغناطيسى ؛ فإنها تطلق إشعاعًا ليس فقط كموجات راديو ، ولكنها تعطى أيضًا وهجًا غريبًا لضوء مرئى يسمى انبعاث سينكروترون (Synchrotron) ، ويتطلب

نظرية السينكروترون أن تكون الموجات المنبعثة بهذه الطريقة مستقطبة ، وأنها تتذبذب إلى أعلى وإلى أسفل فى مستوى معين ؛ ولذلك تنبأ تشيكلوفسكى أن الضوء المنتشر للسديم يكون مستقطبًا، مما يجعل برج السرطان يبدو مختلفًا إذا نظر إليه من خلال مرشح مستقطب مثل المادة التى تصنع منها نظارات الشمس المستقطبة(Polaroids) وكان هذا العالم على صواب ، فكما يتضح من الصور التى التقطت من خلال مستقطب يدور فى اتجاهات مختلفة ؛ فإن السحابة الضبابية البيضاء للسديم تغير من شكلها جذريا، وبذلك فإن السحابة ليست غازًا ساخنًا على الإطلاق مثل السحب السابقة التى شاهدها الفلكيون فى الفضاء ؛ إنها الضوء الغريب للسينكروترون الذى ينبعث من الالكترونات المحبوسة فى مجال مغناطيسى شديد، وعلى النقيض فإن ضوء الخيوط غير مستقطب ، فهو يأتى من ذرات الهيدروجين والاكسجين المتوهجة (يبعث تجمع الذرات المتوهج بالضوء المتذبذب فى اتجاهات عشوائية) ، وأخيراً وبدوران هوائيات الراديو أوضح فلكيو الراديو أن الانبعاثات الراديوية للسرطان هى الأخرى مستقطبة، كما يجب أن تكون تبعًا لنظرية السينكروترون .

وقد أدى حل تشيكلوفسكى العبقرى للمشكلة إلى ظهور معضلة أخرى ؛ أى مصدر للطاقة يمكن أن يتحمل الإلكترونات السريعة التى تتسابق حول السديم بسرعة تقارب سرعة الضوء؟ عندما تشع الإلكترونات فإنها تعطى طاقة ، وإذا لم يكن هناك مدد مستمر من الطاقة بطريقة ما للنظام ؛ فإن الإلكترونات ستفقد سرعتها وسيخفت التوهج ، وقد زادت المعضلة غموضًا باكتشاف الأشعة السينية من برج السرطان ، حيث كانت الطاقة الكلية المطلوبة تفوق طاقة الشمس مائة مرة ، وكما يحدث غالبًا فى العلوم جاءت الإجابة من اتجاه غير متوقع .

وفى أواخر الستينيات كان "جوسلين بل" (Jocelyn Bell) و"أنطونى هيويش" (Anthony Hewish) يدرسان الإشعاع القادم من الكوازارات (Quasars) ، وفى المصادر الراديوية البعيدة والقوية جدا ، وقد كان الهوائى الخاص بهما يغطى مساحات كبيرة لكنه لم يكن قابلاً للدوران، لذلك كان عليهما انتظار دوران الأرض ليتوجه الهوائى تجاه كل مصدر، وفى ٢٨ نوفمبر ١٩٦٧ لاحظ "بل" إشارة حيرت عالم الفلك، وكانت هذه الإشارة سلسلة من النبضات يفصل بينها فترات زمنية متساوية = ١٫٣٣٧ ثانية ، وبعد استبعاد احتمالات

أي تداخل من الأرض ، فإن الباحثين قد ربطوا هذه الإشارات - مازحين - بوجود كائنات ذكية أطلقوا عليها اسم الرجال الخضر الصغار (Little Green Men)-(LGMS)، وحيث إن معظم الظواهر الفلكية تتضمن أشياء ضخمة ، فإنها ترتبط بمقاييس زمنية طويلة وليست قصيرة ؛ لذا فإنه من الصعب أن تدرك أن هناك أسباباً فلكية وراء سلسلة النبضات التي يفصل بينهما مجرد ثانية أو نحو ذلك ، وفقط عندما اكتشف بل وهيويش مصادر أكثر لنبضات منتظمة في أجزاء مختلفة من السماء لها فترات زمنية (بين النبضات) مختلفة أصبحا متأكدين أنهما قد اكتشفا ظاهرة طبيعية جديدة وليست إشارات من حضارات خارج الأرض .

وفي حملة عالمية اكتشف فلكيو الراديو العشرات من هذه النبضات الجديدة، بعضها يومض أسرع كثيراً من مجرد مرة في الثانية، وقد استبعد النظريون كل التفسيرات عدا واحداً فقط : لابد أن تكون النبضات نجوماً نيوترونية دوارة قطر كل منها حوالي ١٠ كم ، ولا يمكن لأي جسم أكبر من ذلك أن يتحمل وطأة التسارع الهائل الناشئ عن مثل هذه الترددات والدورانات السريعة، فالنجوم العادية وحتى الأقزام البيضاء كانت ستتمزق إرباً ، وقد بين "توماس جولد" (Thomas Gold) كيف أن النجم النيوتروني المتكون من انهيار النجوم الكبيرة يولد وهو يدور بسرعة، ومعظم النجوم دوارة ، ومثل المتزلجين على الجليد عندما يضمون أذرعهم إلى جانبهم تزداد سرعة دورانهم ، فكذلك النجوم الدوارة المنهارة سوف تخلف وراءها بقايا تدور بسرعة ، وللنجوم مجالات مغناطيسية أيضاً ، لذلك فأثناء الانهيار تزداد شدة المجال كثيراً مع تقلص المسافة بين خطوط المجال لتصل إلى مستويات لا يمكن الحصول عليها في أي معامل للمغناطيسية على الأرض، ويحيط بالنجوم بالغة الكثافة غازات متأينة وعدد كافٍ من الإلكترونات الطليقة، وقد خمن جولد أن المجال المغناطيسي الدوار من الممكن أن يجمع هذه الإلكترونات ويعجل من سرعتها إلى ما يقارب سرعة الضوء، وعندئذ ستؤدي ظاهرة السينكروترون إلى ظهور أشعة راديوية تدور حول النجم النيوتروني مثل ضوء الفنار، وبالصدفة تصل هذه الأشعة الأرض، وقد أثارت هذه الآلية التي فسرت النبضات الراديوية المنتظمة والسريعة دهشة الفلكيين، وبالرغم من أن التفاصيل ما زالت موضوع تساؤل ، فإن تفسير جولد ما زال صالحاً حتى اليوم .

وفي إثر ذلك اكتشف الفلكيون بالمرصد الوطني الراديو فلكي في جرين بانك في فرجينيا الغربية (Green Bank in West Virginina) نبضاً راديويا في وسط سديم السرطان كان ينبض أسرع من أي مصدر اكتشف حتى تلك اللحظة ، وبمعدل أكثر من ثلاثين مرة في الثانية، ولكن ما هو النجم النيوتروني ؟ ليس للتلسكوبات الراديوية مقدرة الفصل الكافية لتدلنا على ذلك، وقد سجل الفلكيون بالمرصد الوطني في كيت بيك (Kitt Beak) بأريزونا نبضات ضوء مرئي عادي يفصل بينها ٣٣مل ثانية فقط ، ومصدرها أحد النجوم القريبة من مركز سديم السرطان ، وهو نفس النجم الذي اقترح عالم الفيزياء "فريتس زيفيكي" (Fritz Zuvicky) من معهد كاليفورنيا للتقنية في عام ١٩٢٧ أنه نجم نيوتروني ، وهو نفس النجم الأقرب إلى النقطة التي تشير إليها الخيوط أثناء تمددها ، ومع استمرار موجة الاكتشافات رصد الفلكيون في أريسيبو ببورتريكو (Arecibo in Peuerto Rico) – باستخدام أكبر تلسكوب راديوي في العالم – إبطاءً طفيفًا في نبضات الراديو من سديم السرطان ، ويتفق سرعة الإبطاء مع كم الطاقة التي يفقدها السديم في كل أشكال الإشعاع ، أي أن طاقة الدوران للنجم النيتروني الدوار تتحول باستمرار إلى إشعاع ، وهكذا تم أخيراً حل لغز السر الأكبر في سديم السرطان .

وبالدوران حول قلب السديم ، فإن النجم النيوتروني للسرطان يدير آلة طاقة هائلة تنتج كل أنواع الإشعاع التي نرصدها، وبتأثير المجال المغناطيسي القوي تندفع الإلكترونات بشدة إلى الخارج في حركة حلزونية طول الوقت حول خطوط المجال، وتشع أثناء ذلك كل طيف الإشعاع بدءاً من موجات الراديو والميكروية وحتى الضوء المرئي وأشعة إكس وجاما (بواسطة انبعاث سنكروترون)، وتلحق الإلكترونات عالية الطاقة بالخيوط – التي تقذف بها انفجار المستعر الأعظم منذ مدة طويلة وتدفعها إلى الخارج – ويجبر ضغط الإلكترونات العالي مع المجال المغناطيسي التمدد الكلي للخيوط أن يتسارع ويفسر ذلك لماذا يبدو وكأن التمدد قد بدأ سنة ١١٤٠ وليس سنة ١٠٥٤ ، واندفاع سديم السنكروترون المحموم إلى الخارج بسبب اضطراب الخيوط وتمزقها إلى أجزاء أصغر وأصغر مانحاً إياها شكل الشريط المثقب المنمق الذي نشاهده اليوم .

ويقتنص المجال المغناطيسي الدوار (مثل الدرويش) الجسيمات المشحونة الأثقل، وقد يقوم هذا المجال - كما يعتقد بعض علماء الفيزياء الفلكيين - بتعجيل البروتونات والأنوية الأثقل إلى طاقات تفوق ما يمكن الحصول عليه بواسطة أقوى معجلات الجسيمات على الأرض، وقد تفسر هذه الجسيمات عالية الطاقة الأشعة الكونية (Cosmic rays) ، وكذلك الجسيمات المشحونة الأخرى التي تم تعجيلها في الانفجار الأصلي للمستعر الأعظم ، وتلعب الأشعة الكونية دوراً متعاظماً مدهشاً في اتزان الطاقة في الكون - فطاقتها الكلية تقارب طاقة ضوء النجوم.

والآن وبعد أن علمنا عن النجم الإلكتروني في قلب سديم السرطان، يمكننا إعادة تمثيل الكارثة النجمية التي أدت إلى ميلاد السديم . كان هناك نجم لا يختلف كثيراً عن شمسنا ولكن تزيد كتلته عن ٨-١٠ مرات قدر كتلة الشمس ، ويسطع في مكان النجم النيوتروني الموجود حالياً ، وقد انفجر هذا النجم في النهاية على شكل مستعر أعظم كما شرحنا في الفصل السابق ، وانهار اللب الحديدي للنجم في لحظة وفاته بادئاً في تكوين قلب نيوتروني داخلي متماسك ، وارتد بقية القلب الحديدي للنجم ناسفاً أنوية مشحونة وإلكترونات وأشعة إلى الخارج ، واندفع الانفجار مخترقاً الطبقات الخارجية للنجم بشكل غير منتظم محطماً معظم هذه الطبقات إلى خيوط متطايرة تصل إلى عشرة آلاف كيلومتر في الثانية ، ويتخلف عن ذلك نجم نيتروني كتلته ١,٢ من كتلة الشمس يدور حول نفسه حوالي ١٠٠ مرة في الثانية ويبلغ قطره عشرة كيلومترات ، ونحن لا نعرف أي مادة على الأرض يمكن أن تتحمل مثل هذا الدوران العنيف ، والنجم النيوتروني ليس إلا نواة واحدة عملاقة متماسكة مع بعضها بنفس قوة الترابط النووي القوي الذي يربط أنوية المادة العادية .

وفي البداية يكون المجال المغنطيسي على سطح النجم النيتروني أكبر تريليون مرة من المجال المغناطيسي على سطح الأرض - وهو المجال الذي يجعل البوصلة تتجه دائماً إلى الشمال - وإذا كان شخص ما يرتدي حذاء له مشبك من الصلب فإنه سيكون سيء الحظ إذا وجد وسط هذا المجال المغناطيسي الرهيب حيث سيقذف به بعيداً بأسرع من الصوت ، وبدوران النجم النيوتروني حديث الولادة ومجاله المغناطيسي ،

فإن مقدرتهما على تعجيل الجسيمات المشحونة وتوليد الإشعاعات الكهرومغناطيسية ستكون أقصى ما يمكن ، وستفقد الطاقة بمعدل أسرع مما سيحدث فيما بعد، ويتباطأ دوران النجم، وتحدث تغيرات فجائية في معدل الدوران في بعض الأحيان ، وقد تؤدي هذه التغيرات أو الزلازل النجمية إلى تغيرات مفاجئة في الشكل من المفلطح إلى الأكثر كروية ، أو إلى طرد كمية كبيرة من الإلكترونات عالية الطاقة ، وقد شوهد تغير كبير على وجه الخصوص سنة ١٩٦٩ .

وقد أظهرت الصور الجديدة التي التقطت بواسطة تلسكوب هابل الفضائي تفاصيل أكثر تعقيداً داخل سديم السرطان ، وقد بينت هذه الصور ذات درجة الفصل العالية بنى جديدة تماماً وساعدت في توضيح التركيب الكيميائي واختلاف درجات الحرارة في كل خيط ، وتظهر عناصر الكربون والأكسجين والنيتروجين والكبريت وغيرها من العناصر بوضوح ، ولكن مع التفاصيل الجديدة جاءت أحاجي جديدة ، حيث يبدو أن نسبة انتشار عناصر معينة لا تتفق مع النظرية ، وتندفع بكمية أكبر من الغبار خارجة من الخيوط أكثر مما كان يعتقد ، كذلك هناك أدلة على وجود أرجون أكثر من الموجود في بقايا مستعرات عظمى أخرى ، ويأتي الأرجون من عقد غريبة صغيرة متوهجة ومصطفة على طول أقطار النبضات ، وغير معروف الكيفية التي تكونت بها هذه العقد ، وتبين الحساسية الفائقة للتلسكوب الفضائي التوهج الغريب الذي يتخذ شكل الكعكة على أحد جانبي النبضة والعقدة غير العادية الساطعة للغاز القريبة من البولسار على الجانب الآخر .

ويصل مجموع كتلة النجم النيتروني والخيوط والجزء المنتشر من السديم إلى ثلاثة أضعاف كتلة الشمس فقط، ويبدو كأن هناك ما يقرب من ٤-٥ أضعاف كتلة الشمس على الأقل مفقود - بافتراض أن النجم الأصلي كان على الأقل أثقل من الشمس ثماني مرات - وهي أصغر كتلة يعتقد أنها يمكن أن تنفجر كمستعر أعظم من الطراز II ، ومن الممكن تفسير هذا التناقض المقلق ، حيث رصد "بول موردن" (Paul Murdin) من المرصد الملكي بأدنبرة هالة هائلة من الهيدروجين تحيط بسديم السرطان ، وقد حسب كتلتها فوجدها تساوي تقريباً ٤ أمثال كتلة الشمس ، وهو ما يعادل القيمة المفقودة ، ومن دراسات بقايا النجوم المتشتتة مثل بقايا برج السرطان - أصبح الفلكيون أكثر ثقة

فى فهمهم أسس الفيزياء الفلكية للمستعرات العظمى من حيث كيف طردت مادة النجم الميت لمولد عالم جديد ، ولكن السدم الخيطية مثل السرطان توجد بكميات محدودة جدا ، فلو انفجر مستعر أعظم قريب من مجرتنا - حتى لو كان أقرب من السرطان - فإن علينا أن ننتظر مئات السنين ليتكون سديم جديد ، وهناك مجال آخر فى أبحاث المستعرات العظمى - المملكة التى بها المدد لا نهائى ، حيث البلايين فوق البلايين من المجرات البعيدة التى تكون عالمنا .

الفصل الخامس عشر

قناصو المستعرات

عند الغسق تفتح قبة التلسكوب فتقرقع المفاتيح وتزأر الموتورات ، ثم تتوقف الأصوات وتمر الدقائق فى سكون إلا من قرقعة تسمع من حين لآخر، ثم القرقعة والزئير مرة أخرى ، ويتكرر هذا النسق مرات ومرات ، ويفضح الوهج البعيد عن مدينة عمرانية نائمة ، وهناك طريق ولكن لا توجد كشافات لسيارات تضيئه ، ولا تسمع أصوات ولا خطوات أقدام ، وهناك باب لكن لا يدخل ولا يخرج منه أحد ! وقبل الفجر بقليل يضيق الشق وتغلق القبة .

وبعيداً جدا توجد غرفة بها ست محطات فلكية مزودة بكمبيوترات قوية تثير أى منها حسد الحاسدين، ولا توجد هناك حاسبات شخصية (PC) ولا حتى شاشات صغيرة مثل التى يستخدمها مستخدمو الحاسبات، وفى أحد الأركان يقوم برج من مشغلات الأقراص (Disc Drives) ذات السعة الهائلة من مستوى جيجا بايت فوق جيجا بايت (جيجا = بليون) وفى كل محطة يجلس عالم يحدق بإمعان فى شاشة ضخمة ، وعند النظر من فوق كتفه سترى مجالاً من المجرات ، المئات منها من كل الأشكال والحجوم ، وسترى أيضًا أنساقًا غير مألوفة مثل البقع والمربعات والرموز والأوامر، ونوافذ داخل النوافذ، ومن المحطة المجاورة يصدر فجأة صوت : "أظن أننى وجدت شيئًا ما" .

المستعرات العظمى نادرة ، والقريبة منها إلينا - حتى نتمكن من دراستها بالتفصيل - أكثر ندرة ، ومن المثير أن نكتشف أحدها ، لكن ذلك يجعل دراستها أمرًا ممتعًا ، ولم نكن موفقين بما فيه الكفاية لنكتشف أحدها فى مجراتنا منذ زمن كبلر

(Kepler) (منذ ٤٠٠ سنة مضت)، وظهر المستعر الأعظم 1987A فى سحابة ماجلان الكبرى كتحدث نجم يموت ، وسحابة ماجلان الكبرى هى مجرة صغيرة تبعد حوالى ١٦٠ ألف سنة ضوئية – وهى بذلك قريبة جدا إذا قورنت بالمسافات بين معظم المجرات – وعندما نجد مستعراً أعظم بعيداً جدا ، فإن هذا الكنز الجديد ربما يتكون فقط من بضعة مربعات من التوهج المتغير على شاشة الكمبيوتر، وفى عالم فسيح يحتوى على بلايين المجرات فنحن فى حيرة إلى أين نوجه أنظارنا ، قد تسطع فجأة أى مجرة – حلزونية كانت أم بيضية – بضوء مُركز سرعان ما يتساوى مع كل الضوء المنبعث من الخلفية .

وحتى نضع مشكلة البحث عن المستعرات العظمى فى مكانها الصحيح ، دعنا نحصى كم منها يمكن أن نتوقع وجوده . تعتمد الإجابة على عدد المجرات التى نستطيع مشاهدتها فى نفس الوقت ، فنحن نتوقع مستعراً أعظم واحداً فى المتوسط كل مائة عام فى مجرة نموذجية ، فإذا راقبنا مائة مجرة فسوف نجد تقريباً مستعراً أعظم واحداً كل سنة ، وهو بالكاد يمكن أن يشغل فريقاً بحثياً، أما إذا تمكنا من مراقبة ١٢٠٠ مجرة ، فإننا سوف نجد مستعراً أعظم كل شهر، وهذا أفضل ، والحصول على مستعر أعظم مرة كل أسبوع ، فإن الأمر يتطلب مراقبة ٥٢٠٠ مجرة ، وبالمثل لدراسة مستعر أعظم يوميا فإن علينا مراقبة ٣٦٥٠٠ مجرة .

ويرجع تاريخ فكرة البحث المنهجى عن المستعرات العظمى إلى مقال متميز ظهر سنة ١٩٣٤ للمؤلفين "والتر باد" (Walter Baade) و"فريتس زفيكى" (Fritz Zwicky) والذى صك فيه المصطلح "مستعر أعظم "Supernova نفسه، وقد درس باد – الفلكى بمعهد كاليفورنيا للتقنية – والفيزيائى زفيكى ما يقرب من ٢٠ نجماً جديداً (Novae) شديدى البريق كانوا معروفين حتى ذلك الوقت ، وقد فسر هذه الأحداث كتحولات انفجارية لنجوم هائلة إلى نجوم نيوترونية دقيقة، والتى كان ليف لانداو (Lev Laudau) قد افترض وجودها منذ وقت قريب . كان هذا الحديث يشغل العقول حيث كان "جيمس شادويك" (James Chadwick) قد اكتشف بدوره النيوترون نفسه سنة ١٩٣٢، وقد خمن باد وزفيكى أن هذه المستعرات العظمى تعجل الجسيمات المشحونة إلى طاقات عالية، وعليه زودنا بتفسير للأشعة الكونية المحيرة .

وفى أثناء زمالتهما الطويلة لعب باد دور الرجل المستقيم والمتمرس التقليدى والفلكى شديد الحذر ، بينما كان زفيكى هو رجل الفكرة ، وقد حظيت أفكار زفيكى الأخاذة عن المستعرات العظمى بالكثير من اهتمام الإعلام ، ولكن البيانات الواقعية كانت شحيحة ، حتى إنها لم تستطع إقناع الفلكيين ، وكما هو الحال الآن فعلماء الفيزياء الذين يغزون ميدان الفلك ينظر إليهم كمحدثى نعمة ، لكن زفيكى كان صعب المراس ليس من السهل إزاحته، وقليل من الفلكيين مقتنعون بأن المستعرات العظمى ما هى إلا خطوات ضرورية فى تطور النجوم : ولهذا تستحق بذل الجهد لاكتشاف المزيد منها ، وعلى أية حال جمع زفيكى فريقاً مكوناً منه ومن باد وملتون هيوماسون (Milton Humason) (الذى كان قد عمل مع إدوين هابل) ومن رودلف منكوفسكى (Rudolph Minkowsky) (الذى اشتهر كخبير أطياف) وتمثل هذه الأسماء فى أيامنا هذه جزءاً من فريق الأحلام لمشاهير الفلكيين ، لكنهم فى ذلك الوقت كانوا نسبيا مجرد شباب باحثين غير معروفين .

فى البداية كانت أبحاث زفيكى متواضعة المستوى ولم تأت بأى نتائج ، وكانت أجهزته عبارة عن آلة تصوير ٣,٥ بوصة ، موصلة بعاكس[1] ١٢ بوصة ، أصغر من تلك التى يستخدمها بعض الهواة اليوم، ولحسن حظ زفيكى وكل عالم الفلك أن تلسكوبا جديداً قد اخترع وبدأ استخدامه وكان مثاليا لمسح مسافات شاسعة من السماء . بدأ زفيكى ومساعده د. جونسون فى اكتشاف المستعرات العظمى فى المجرات البعيدة باستخدام واحد من أوائل تلسكوبات شميت (Schmidt) ١٨بوصة والمنصوب على جبل ولسون. كانت طريقته هى مقارنة صور المجرات المأخوذة فى أوقات مختلفة باستخدام ميكروسكوب ثنائى العينين (Binocular) والبحث عن أجسام جديدة فى الصور الأحدث .

وفيما بين سنة ١٩٣١ ونهاية سنة ١٩٤٦ وجد زفيكى ١٤ مستعراً أعظم أخرى بينما وجد جونسون أربعة ، وللغرابة كانت كل المستعرات التى اكتشفها زفيكى من النوع الأول (بدون هيدروجين فى أطيافها) ، أما تلك التى اكتشفها جونسون فكانت من النوع الثانى (بها هيدروجين بكميات وافرة)، وبعد اكتشاف كل مستعر أعظم كان باد

(١) يوصف التلسكوب عادة بقطر مرآته الرئيسية (فى حالة التلسكوبات العاكسة) أو بقطر عدسته الشيئية (فى حالة التلسكوبات الكاسرة)

يقوم بقياساته لتحديد منحنيات الضوء ، بينما كان يقوم منكوفسكى باقتناص الأطياف بواسطة تلسكوب ١٠٠ بوصة الأكثر حساسية والمنصوب على جبل ويلسون .

وأخيراً اكتشف زفيكى ومعاونوه أكثر من ٢٠٠ مستعر أعظم مستخدمين فى الأغلب تلسكوب شميت الجديد ٤٨ بوصة (١.٢ متر) من فوق قمة جبل ويلسون ، وبهذا العمل يكونون قد فتحوا مجالاً جديداً تماماً فى الفلك ، وحتى منتصف التسعينيات فإن ثلث ما اكتشف من مستعرات عظمى والتى يفوق عددها ٧٠٠ يمكن أن تنسب إلى زفيكى ومعاونيه ، وعلى الرغم من أن الكثير الذى تعلمناه قد جاء باستخدام التقنية الأصيلة ؛ فإن الاعتماد على التصوير جعل من العملية أمراً شاقا بالإضافة إلى فارق الزمن بين لحظة التقاط الصورة والتعرف على حدوث ظاهرة المستعر الأعظم ، وقد جعل ذلك من تحديد منحنيات الضوء أمراً عسيراً ، والتى يمثل ارتفاعها وانخفاضها الحاد حجر الزاوية فى فهم ما قد حدث ، والأسوأ من ذلك أنه فى بعض الأحيان فى لحظة اقتناص الأطياف لم يكن الضوء كافياً للحصول على نتائج مفيدة ، وأيضاً كان افتقار المستحلبات الفوتوغرافية للحساسية مقارنة بالتقنية الحديثة يعنى أن معظم المستعرات العظمى ظلت خافية ، وكما سنرى فإن أبعد المستعرات هى أكثرها فائدة للأبحاث الكونية ، بينما تمثل المستعرات القريبة قيمة أكبر فى دراسة الطريقة التى تموت بها النجوم .

كان اكتشاف المستعرات العظمى بالتحديق فى الصور بواسطة الميكروسكوب أمراً مرهقاً ، وفى وقت مبكر من سنة ١٩٣٩ ناقش زفيكى احتمالات استخدام التقنية التى كانت ما تزال فى المهد (التليفزيون) فى علم الفلك مع "زفوريكين" (Zworykin) من RCA الأمريكية - وهو مخترع بعض أنابيب التليفزيون الأولى ، لكن لسوء الحظ كان على التقنية الإلكترونية للتصوير فى ذلك العصر أن تقطع شوطاً طويلاً قبل أن تريح قناصى المستعرات العظمى من الملل .

ومنذ أيام زفيكى تغيرت طرق البحث عن المستعرات العظمى وقرائنس الصيد الأخرى فى الفلك بشكل جذرى ، فحتى نهاية الستينيات كانت التلسكوبات تدار يدويا، وأن تكون مراقباً فلكيا ، فإن ذلك غالباً ما يعنى قضاء ليالٍ طويلة قارصة البرودة فى

نفس عالٍ فوق المرآة الرئيسية للتلسكوب. لم يكن للدفء مكان نظراً لأن الحرارة تسبب تيارات حمل من الهواء على المرآة مفسدة وضوح الصورة، ويستمتع بعض الفلكيين بالحياة الخشنة فى المراصد فوق قمم الجبال ، لكن البعض الآخر لا يجد ذلك ممتعاً ، وبتطوير أجهزة الكمبيوتر وأنظمة التصوير الإلكترونى التى تساعد فى توجيه التلسكوبات أصبح ممكناً تحويل كل العملية الشاقة إلى عملية أوتوماتيكية، ويستطيع الفلكيون اليوم أن يبرمجوا الكمبيوتر بقائمة من المحاور فى السماء لرصد المناطق المختلفة، ويستطيع الكمبيوتر إدارة التلسكوب مركزاً على نجم مرشد (دليل) من كتالوج مرقم مصوباً على مجاله لمدة من الزمن محددة مسبقاً ، وأصبح استخدام التوجيه بالكمبيوتر منتشراً لدرجة أن تلسكوبات الهواة متوسطة الثمن استفادت من ذلك ، ويرجع الفضل للطرق الإلكترونية فى الحصول على اللقطات ، حيث إن معظم الفلكيين وفلكيى الفيزياء قد تحرروا من طغيان التصوير الفوتوغرافى ، ويقضى المتخصصون الكثير من وقتهم فى محطات تشغيل الكمبيوتر عالى القوة فى تصميم أو تشغيل البرامج المتطورة لإنتاج الصور (ربما يقولون لأنفسهم لقد استبدلنا طاغية بآخر) .

لقد رأينا فى العقود القليلة الماضية تقدماً مذهلاً فى تقنية الضوء ، فقد كانت كاميرات التليفزيون الأولى تزن ما يعادل وزن الإنسان ويزيد ثمنها عن ١٠٠ ألف دولار ، ومع هذا كانت ضعيفة الحساسية لدرجة أنه يلزم ضوء النهار أو ضوء الأستوديو البراق للحصول على أى صورة ، الآن وبحوالى ٤٠٠ دولار يمكنك شراء كاميرا فيديو من الحساسية لدرجة أنها تستطيع تصوير الأولاد داخل المنازل فى ضوء خافت ، ونفس هذه التقنية التى جعلت التصوير بالفيديو داخل المنازل مريحاً للغاية هى التى أحدثت الثورة فى علم الفلك ، وكان أهم اكتشاف هو جهاز الشحنة المزدوجة CCD أو (Charge Coupled Device) وبكاميرا من نوع CCD أمكن رصد أجسام فلكية أكثر عتامة، وأفضل ما تم تصويره هو اللقطات التى سجلت على شكل رقمى مما يجعلها مثالية للتعامل بالكمبيوتر. والآن يمكن استخدام قدرات التصوير الرقمى الحديث فى تحليل القياسات الفلكية بدقة .

ما هو جهاز CCD بالضبط ؟ فى الأساس هى تلك الرقاقة الحساسة للضوء (Chip) ، وعندما ترتطم فوتونات الضوء بسطح شبه موصل (سيليكون عادة) حيث

تنطلق الإلكترونات من ذرات السيليكون للتحرك بحرية في نمط معين (يطلق عليه نطاق التوصيل) . وهناك بعض التشابه بين هذه العملية والتأثير الكهروضوئي في الفلزات الذي اكتشف بواسطة الفزيائيين في القرن التاسع عشر، وكان أينشتاين أول من فسر كيف تطرد الفوتونات الساقطة على الفلزات الإلكترونات، وينطبق هذا المفهوم الأساسي على العوازل وأشباه الموصلات كذلك مثل السليكون، وميزة استخدام اللافلز الكبيرة هي أن الشحنة الناتجة من سقوط الضوء لا تنطلق بالضرورة في الحال كما في حالة الموصلات . وتقسم رقاقة CCD إلى آلاف بل حتى ملايين المربعات الصغيرة والمسماة Pixels التي تخزن الشحنة مؤقتًا . وتتميز هذه العملية بحساسية أكثر كثيراً مما يحدث في أفلام التصوير الفوتوغرافي، وفي حالة الرقائق الجيدة فإن نسبة قد تصل إلى ٩٠٪ من الفوتونات يمكن أن تسجل في أحد البيكسالات . وقد يستمر غشاء العدسة مفتوحاً في كاميرات التصوير CCD الفلكي طوال مدة التعرض التي قد تصل إلى عشر دقائق ، تغلق فتحة العدسة بعد ذلك لتبدأ عملية القراءة . إنها نوع من القنوات الإلكترونية محشودة على شكل دلو، والتي منها جاء الاسم الشحنة المزدوجة ، وتنتقل الشحنة من بيكسل إلى جاره بتطبيق سلسلة من النبضات الفولتية على الأقطاب التي تكوّن البيكسالات ، وحيث إن زمن النبضات معروف ، فإن القراءة الإلكترونية تستطيع استخلاص عدد الفوتونات المحسوبة في كل بيكسل بناء على محاوره س ، ص، وتحدد عدد الفوتونات المحسوبة درجة السطوع (وضوح الصورة) . وفي النهاية فإن صور CCD تتحول إلى ملفات من الأرقام مسجلة على أسطوانة الكمبيوتر.

وبالرغم من أن الإلكترونيات الداخلة في تسجيل وقراءة شبكات CCD أكثر تعقيداً مما نود، فإن الرقائق نفسها أبسط كثيراً من جهاز تشغيل الكمبيوتر الدقيق (Comput- er microprocessor) مثل ٤٨٦ أو رقاقة بنتيوم (Peutium chip) وهي تماثل بشكل ما رقائق الذاكرة . كان الفلكيون محظوظين في أن تقنية CCD قد بدأتها شركات مثل فيرتشايلد (Fairchild و RCA) وأجهزة تكساس (Texas Instruments) للفيديو والفضاء وأغراض التجسس العسكري ؛ لأن مجتمع الفلكيين لم يكن ليقدر على تحمل نفقات هذه التقنية بأنفسهم . وتحتوي الرقائق الحديثة على ٢٠٤٨ × ٢٠٤٨ بيكسل ؛ أي ٤١٩٤٣٠٤ بيكسل ، مما يعني أكثر من عشرة أضعاف العدد الموجود في كاميرات

الفيديو .CCD وتبلغ درجة الفصل في التلسكوبات المزودة بمثل هذه الشبكات حوالي ٠٫٥ ثانية من القوس لكل بيكسل ، وهي كافية لتمييز شخص على سطح الأرض بواسطة تلسكوب يدور على ارتفاع عدة مئات من الأميال .

كان التحكم بالكمبيوتر والتصوير الإلكتروني مجرد بداية بالنسبة لبعض الفلكيين ، وكانت أحلامهم تتغذى على أفكار عن مرصد تام الأتمتة يعمل بالروبوتات في هدوء دون تدخل بشري، وكان الدافع للحلم هو الاقتصاد والسهولة في الاستخدام أكثر من الخوف من الصقيع. فالتلسكوب الروبوت على قمة جبل يستطيع أن يرصد دون أخطاء ليلة بعد أخرى ، بينما يتمكن الفلكيون الذين يشرفون عليه من التفرغ لأعمالهم الأخرى في المدينة .

استمرت معركة تطوير التلسكوبات الأوتوماتكية للبحث عن المستعرات العظمى عدة عقود، وحتى وقت قريب كانت طموحات الفلكيين أبعد من الأجهزة المتاحة . بدأ أول برنامج شبه أتوماتيكي ناجح في الستينيات مستخدماً تلسكوب ٢٤ بوصة تم تصميمه خصيصاً لذلك في مرصد كاراليتوس (Caralitos) في نيومكسيكو ، واستطاع فلكيون من جامعة نورث وسترن بقيادة ألين هاينك (Allen Hynek) من اكتشاف ١٤ مستعراً أعظم في المجرات القريبة نسبيا . كانت أجهزة التسجيل المتاحة لهم هي أنابيب التليفزيون، وهي أجهزة قد تطورت كثيراً منذ أفكار زفيكي سنة ١٩٣٩، لكن حساسيتها ودرجة الفصل فيها لا تقارن بأجهزة CCD الحديثة (تتطلب طريقة هاينك وقتًا طويلاً شاقا للمقارنة بالعين المجردة بين صور المجرات المأخوذة بالتليفزيون وصور مرجعية ، حيث كان من غير الممكن في ذلك الوقت تسجيل الصور رقميا) .

وبالرغم من أن ستيرلنج كولجيت (Stirling Colgate) من معهد التعدين والتصنيع في نيومكسيكو لم يستطع استخدام نظامه في اكتشاف المستعرات العظمى ؛ فإنه قام بتصميم وبناء أول تلسكوب تام الأتمتة لدراسة المستعرات العظمى. قام كولجيت – من أكبر العلماء النظريين في المستعرات العظمى ورئيس المعهد المذكور – في نهاية الستينيات وأوائل السبعينيات بإعادة تكييف الكثير من الرادارات الحربية لتحمل تلسكوب ٣٠ بوصة. أراد كولجيت أن يكتشف المستعرات العظمى في لحظاتها الأولى

أثناء ازدياد سطوعها فقد اكتشفت معظم المستعرات العظمى السابقة بعد وصولها إلى أقصى درجة سطوع ، مما يجعل الأمر متأخراً جداً لالتقاط أطيافها . كان كولجيت في حاجة إلى اختبار نماذجه المتطورة عن انفجارات النجوم كثيفة الكتلة، وكان مفهومه الأصلي يدعو إلى بث بيانات رقمية بالموجات الميكروية من جبل "ساوث بالدي" إلى موقع المعهد الذي يبعد ١٧ ميلاً ، ولسوء حظ كولجيت لم يكن عصر الرقاقة الدقيقة (Microchip) قد بزغ – لم يكن أمامه سوى الأنابيب التليفزيونية غير الكافية والحاسبات التي تملأ الغرف وتقل مقدرتها عن الكمبيوتر المحمول في أيامنا هذه – وبعد جهود رائدة على مدى عشرين سنة لم يكن تلسكوبه مستعداً بعد لالتقاط بيانات مفيدة .

وقد شجعت أفكار كولجيت الفلكيين الفيزيائيين في معمل لورنس في بيركلي بجامعة كاليفورنيا في تطوير وتجديد برنامج أبحاث أتوماتيكي عن المستعرات . لم يتطلب الأمر منهم بذل الكثير من الجهد من أجل تقنية أفضل ؛ حيث إنهم قد بدأوا مع ظهور أجهزة CCD الجيدة والكمبيوترات الشخصية (PC) زهيدة الثمن ، وفي عام ١٩٧٨ وجد لويس ألفاريز أن القوات الجوية تستخدم تلسكوبات أوتوماتيكية لرصد عملية إطلاق الصواريخ ، وطلب كل من لويس ألفاريز وريتش مولر أن يستعملا تلسكوبات القوات الجوية الموجودة على الجزيرة المرجانية كواجالين " Kwajalein " في المحيط الباسيفيكي لتصوير المجرات ، لكن طلبهم قوبل بالرفض ، ولكن مولر ورفيقه كارل بيني بيكر (Carl Pennypacker) قررا مواصلة المشروع بواسطة تلسكوبات أخرى ، وفي غضون بضع سنوات أصبح لديهم برنامج أتوماتيكي للبحث ، متمثلاً في تلسكوب لوستشنر ٣٠ بوصة الموجود على تلال بيركلي ، الذي يدار من قسم الفلك بجامعة كاليفورنيا .

وفي أوائل عام ١٩٨٦ جمع الفريق المذكور ألفي صورة مرجعية رقمية للمجرات ، وكانوا يحصلون على عدة مئات من الصور لدراستها كل شهر، وكما في حالة الصور الفوتوغرافية ، فإن اللقطات الرقمية للمستعرات العظمى الساطعة كان من السهل التقاطها، وتتطلب التوهجات الأقل سطوعاً استخلاص كل بيكسل واستبعاد الصورة المرجعية من اللقطة المقابلة المأخوذة للدراسة .

في عام ١٩٨٦ استمتع الفريق بأول نصر بالاكتشاف المبكر لمستعر أعظم ساطع في المجرة القريبة M99 ثم اكتشف نظام بيركلي للبحث الأتوماتيكي أكثر من عشرين مستعراً أعظم فيما بين ١٩٨٦ و ١٩٩٠باستخدام النموذج الأصلي للنظام ، ولقد تبع ذلك اكتشافات أكثر وأكثر، وصار النظريون في حيرة بهذا المعدل الذي كان أعلى من المتوقع بالنسبة لنوع الأحداث التي سبق أن بدت وكأنها نادرة . وكما كان في أيام زفيكي ، فإن مجموعات الفلكيين أخضعوا التلسكوبات الأكبر للتركيز على المستعرات العظمى ذات السطوع الثابت للحصول على أطياف دقيقة، الأمر الذي ساعد في تشخيص المستعرات العظمى وتحديد نوعها وبعدها، وقد اقترحت مجموعات عديدة حول العالم بناء تلسكوبات أوتوماتيكية خاصة لاكتشاف المستعرات العظمى والكويكبات عابرة الأرض والبحث عن المجرات الأبعد، عندئذ بزغ عصر الفلك الأوتوماتيكي ، وبحلول عام ١٩٩٠ أصبح مرصد لوستشنر يسجل بشكل روتيني صور المجرات دون تدخل بشري .

ومن الغريب أن يجد الفلكي نفسه خارج القبة لأن وجوده هامشي أثناء أزيز التلسكوبات الروبوتية في مهمتها الكشفية ، وفيما بين التقاط الصور يتحرك التلسكوب بانسيابية من مجال مجرة إلى مجال مجرة أخرى متمركزاً بالنسبة لنجم مرشد، وفي لحظة معينة يفتح غشاء عدسة CCD وقبيل الفجر تغلق فتحة المرصد، وإذا زادت الرطوبة عن ٩٠ ٪ مبشرة بسقوط المطر ، فإن الفتحة تغلق كذلك ، وتصل كل صباح مجموعة من الصور إلى حجرة الفحص من خلال خطوط نقل البيانات عالية السرعة .

وحتى نتمكن من اكتشاف مستعرات عظمى على مسافات كونية حقيقية مما قد يساعد في الإجابة على تساؤلات عن الكون ككل ؛ فإن التقنية الرقمية الحديثة لا بد أن نختبر على تلسكوبات أكبر، وقد تمكن فريق بيركلي بقيادة الفلكيين الفيزيائيين الشابين سول بيرل موتر (Saul Perl Mutter) وكارل بيني بيكر وباستخدام تلسكوب إسحق نيوتن ٢.٥ متر ، المقام في جزر الكناري – من اكتشاف أبعد مستعر أعظم تمت رؤيته حتى الآن – في مجرات تبعد أكثر من ٥ بليون سنة ضوئية [١] – وقد تسمح

(١) تم رصد مستعر أعظم على مسافة ١٢ بليون سنة ضوئية حديثًا بعد صدور هذا الكتاب (المترجم) .

هذه الاكتشافات بتحديد ما إذا كان الكون مفتوحًا ومقدراً له أن يتمدد إلى الأبد أم مغلقًا ومقدراً له أن ينهار على نفسه .

ويبدو أن المستعرات العظمى من النوع الأول المثالية لها نفس درجة السطوع الذاتية، أى أنها جميعًا تعطى نفس الكمية من الطاقة الكلية ، وليس هذا بالأمر المفاجئ؛ كما تتطلب النظرية الحالية، إذ كانت النجوم الأصل كلها أقزام بيضاء ولها نفس الكتلة، ويطلق الفلكيون على الأجسام النادرة ذات الانتظام فى القيم "الشموع القياسية" (Standard Candles) وهى تشبه مجموعة شموع فى كاتدرائية من حيث إن الأقرب منها يبدو أكثر سطوعاً ، ولكن حيث إنها كلها متماثلة فمن الممكن تحديد بعد كل منها بناء على درجة سطوعها بالنسبة لنا، وسوف نعود إلى قصة الكيفية التى استخدمت بها المستعرات العظمى للقياسات الكونية فى الفصل ٢٢ .

وتلعب المستعرات العظمى دوراً بارزاً كأباء كرماء فى قصتنا عن أصلنا، فهى تنثر الفضاء بالعناصر الثقيلة الضرورية لتكون الحياة ، وتشكل حتى الكويكبات الصخرية التى تجمعت أثناء ميلاد المجموعة الشمسية .

وقد أمضى الفلكيون وقتا طويلاً فى البحث عن الآلية التى تفسر أسباب انهيار السحب الجزيئية - المادة الأصل فى تكون النجوم - وتطاير البعض الآخر، واقترح البعض أن موجات الصدمة الناتجة من انفجارات المستعرات العظمى قد تكون مسئولة عن الانضغاط المبدئى الذى يطلق العنان الجاذبية لتكملة مهمة انهيار السحب ، ويبدو أن وجود كميات كبيرة غير متوقعة من نظائر مشعة معينة فى بعض النيازك يعزز من هذا الرأى ، بيد أن فلكيين آخرين أشاروا إلى انفجارات أقل عنفاً كعملية أكثر احتمالاً فى قدح انهيار السحب ، وقد توصلوا إلى ذلك من محاكاة كمبيوترية تبين أن موجات الصدمة من المستعرات العظمى تكون من القوة بحيث تمزق السحب الجزيئية ولا تضغطها ، لكن ما زال هناك فلكيون فيزيائيون يعتقدون أن عدم الاستقرار الجاذبى وحده قادر على دفع السحب إلى الانهيار والتمزق ، وعليه فلسنا فى حاجة إلى البحث عن سبب خارجى لتكوين النجوم والكواكب .

لندع جانبًا الصدمة العظمى الثانية - صدمة المستعر الأعظم - مؤقتًا ، ونهتم بالانفجار الرهيب، الوحيد المعروف بأنه الأكبر: The Big Bang ، وهو أول صدمة

عظمى ربما تكون قد سمعت بها وهى خلق الكون ، وفى دراستنا للأحجية الثالثة من العنف ، فإننا سنجد ظواهر أكثر اضطرابًا من الشواشية المصاحبة للكويكبات غير المستقرة والمذنبات التى تنفث الغازات التى وردت فى الجزء الأول من هذا الكتاب ، وأغرب من النجوم النيوترونية الدوارة كالدراويش التى وردت فى الجزء الثانى من الكتاب ، فلنعد أنفسنا لمواجهة فضاء محدب، والبعد الرابع ، والجاذب الأعظم، والموجات الميكروية الأولية، والمادة المضادة، وبوزونات - X ، والكواركات (Quarks) ، ونظرية التضخم، والتقلب الكوانتمى، وأخيراً التفرد الأقصى الذى ولد منه الزمكان (Spacetime) .

الفصل السادس عشر

الخلق

ما هو بالضبط الانفجار الرهيب، ذلك الذي يتحدث عنه العلماء، وما زالوا منذ ٤٠ عامًا ؟ هل كان يوجد أي شيء قبل حدوثه ؟ هل سيحدث أي شيء بعده ؟ هل نظرية الانفجار الرهيب في مأزق مثلما تقترح مقالات الصحف من وقت إلى آخر ؟ هل النظريات البديلة تقبع كامنة في انتظار تعثر منظري الانفجار الرهيب ؟ كلها أسئلة صعبة لكننا سنبذل قصارى جهدنا للإجابة عليها في هذا الفصل .

معظم العلماء لا يودون الإجابة عن التساؤل: ماذا حدث قبل الانفجار الرهيب؟ لأنهم لا يعرفون الإجابة، والعلماء، مثل الخبراء في المجالات الأخرى يمتنعون عن كشف كل ما يعرفونه ، ومع هذا فهم يعشقون السباحة في مياه لم تطرق من قبل، ويحيطون أنفسهم بأسئلة غامضة ليس لها إجابة، وهم يحبون الحيرة حول نوع الأسئلة التي يجب أن يسألوها، والتحدي الأكبر في العلوم هو أن تسأل السؤال المناسب .

من المفترض أن الانفجار الرهيب هو أول حدث في الكون ، وربما هو الحدث الالهي الذي نتج منه كل شيء آخر طبقًا لقوانين الفيزياء ، وفي الحقيقة فإن هذا المفهوم ليس بهذه الفخامة، وإن معظم العلماء الذين درسوا هذا الموضوع بجدية يعتقدون انه منذ ١٠ أو ١٥ بليون سنة [1] مضت كان الكون حارًا للغاية ومتطايرًا في كل اتجاه بسرعة هائلة ، كما لو كان يعاني انفجارًا . وهناك تعبير شائع عن تلك

(١) [illegible] هذا الرقم فأصبح ١٢ بليون سنة الآن (المترجم) .

الأزمنة التى تلت الانفجار الرهيب مباشرة وهو كرة النار البدائية (Primeval Fireball) ، عندئذ كانت الحرارة عالية لدرجة أن الذرات وحتى الأنوية لم تكن لتوجد ، وفى الحقيقة كلما عدنا بالزمن إلى الوراء أكثر ، فإن الكون يكون أكثر سخونة، فدرجة الحرارة كانت تصل إلى الآلاف والملايين، والبلايين ، وقد تصل إلى التريليونات إذا عدنا إلى الوراء ما فيه الكفاية، ومنذ هذه البداية الساخنة فإن الكون يتمدد ويبرد مثل البخار المنطلق من وعاء الضغط، والأدلة على ذلك كثيرة ، ولكن فى الوقت الحالى لنفترض أن هذه الظاهرة هى الصورة الوحيدة المتفقة مع مشاهداتنا.

كيف جاءت هذه الحالة من الأحداث ؟ والحقيقة هى - وهى فى نفس الوقت الإجابة عن التساؤل حول ما قد حدث قبل الانفجار الرهيب - أنه ليس لدينا أى فكرة عن أى شىء فى هذا المجال ، وعادة ما يقوم العلماء الجادّون ببعض التخمينات الغريبة، لكن ليس كل ما يورده العلماء من تخمينات يرقى إلى مستوى العلم إلا بعد إرساء أساس متين لهذه التخمينات وإيجاد طرق لاختبارها، ولكن تخمينات العلماء - المازحة - هى على الأقل مبنية على ما هو معروف وما يمكن أن يكون يومًا ما متمشياً مع الحقيقة ، ومن المستحسن اعتبارهم يتلمسون طريقهم نحو تساؤلات صحيحة .

من المسموح للخيال العلمى الجيد أن يحيد عن القوانين العلمية ، ولكن ليس فى معظم الأحيان ؛ وإلا فقد مصداقيته، وبالمثل فإن التخمينات العلمية الجيدة لابد أن تكون متفقة مع ما نعرفه مسبقاً أو لا تتعارض بشكل صارخ مع القوانين العلمية الراسخة ، والشىء المدهش أنه حتى أغرب اكتشافات الفلكيين الفيزيائيين لم تتعارض مع القوانين التى أكدها الفيزيائيون هنا على الأرض ، وكما سنرى فى الحقيقة، فإن أعظم نجاحات نظرية الانفجار الرهيب قد جاءت من تطبيق القوانين التى تصاغ فى المعامل على الظروف الغريبة للكون المبكر، إلا أنه يجب علينا أن نتخلى عن بعض معتقداتنا اليومية المسبقة عندما تشتغل بأحداث خطيرة وبعيدة وهائلة مثل الانفجار الرهيب .

كان انفجار الكون رهيباً ومختلفاً عن أى انفجار آخر شهدته البشرية ، ومع أنه من المغرى أن نتخيل حدوث هذا الانفجار كما لو كان داخل شىء ما، كشظايا القنابل عندما تتطاير فى الهواء ، لكن لم يكن هناك أى شىء يتمدد داخله الكون، وما زال هذا

الوضع قائماً، وعلميا فإن الكون ليس له حدود أو حواف، فهو يتضمن كل ما هو موجود، ولا يوجد شىء خارجه .

وعندما خلق الكون فى شكل كرة النار البدائية ، كان الفضاء نفسه هو الذى انفجر مع الطاقة الموجودة بداخله ، وما زال الفضاء يتمدد بثبات حتى اليوم فى المناطق الشاسعة ما بين المجرات، وهذا المنطوق المدهش أكثر من أن يكون مجرد تخمين أثناء دردشة، لأنه من النتائج الطبيعية للنسبية العامة - نظرية أينشتاين عن السرعة المتزايدة والجاذبية - التى تم اختبارها جيداً عندما طبقت على تطور الكون .

ومن الاستنتاجات الأكثر غرابة للنظرية النسبية العامة أن الفضاء محدب ، وأن تحدبه يعتمد على كمية وتوزيع الكتلة فى الفضاء ، فعندما تتحرك الأجسام أو تنتقل أشعة الضوء ، فإنها تتبع مسار تحدب فى الفضاء المتشكل بواسطة الكتل القريبة ، ويصبح مسارها تقريباً فى خط مستقيم فقط عندما يصير تأثير الجاذبية طفيفاً ، إلا أن الضوء وكل الأجسام تتبع أقصر المسارات المحتملة حسب التأثيرات الواقعة عليها، وفى بعض المناطق يكون الفضاء محدباً بشدة والجاذبية قوية ، حتى إن الضوء لا يتمكن من الهروب، وتسمى هذه الأماكن الثقوب السوداء (Black Holes) ، وبالرغم من أن الدليل على وجود الثقوب السوداء غير مباشر ، وأن النسبية العامة غير مؤكدة على مستوى الكون ككل - فإن هذه النظرية قد اجتازت بنجاح ساحق كل اختبار عملى تعرضت له.

لقد اقترح أينشتاين نظريته العامة فى سنة ١٩١٥ بعد عشر سنوات فقط من الثورة التى أحدثها فى الفيزياء بنظريته الأولى فى النسبية، والتى تسمى النسبية الخاصة، وقد اختبرت النظرية النسبية الخاصة بنجاح آلاف المرات، وقد طبقت قوانين نيوتن للحركة على السرعات الهائلة التى تقترب من سرعة الضوء . هدمت هذه النظرية الفكرة المحببة عن السكون المطلق، تلك الفكرة التى تنادى بوجود إطار مرجعى مفضل فى الكون لا يتحرك فى المفهوم المطلق، والذى يمكن استخدامه لقياس كل السرعات (من الممكن قياس سرعة الأرض بالنسبة لبحر الإشعاعات الذى يغمر الكون، لكن هذا البحر نفسه ليس ساكنًا، وليس إطاراً مطلقًا كما يفهم من المصطلحات السابقة على أينشتاين) لم تكن فكرة قياس السرعة بالنسبة لشىء ما ، وأن الجسم يمكن أن يكون

له سرعات مختلفة في نفس الوقت – معتمدة على الشيء الذي تقاس بالنسبة له السرعة، لم تكن هذه الفكرة جديدة، فقد أدرك جاليليو ونيوتن هذا النوع من النسبية قبل أينشتاين بمئات السنين .

وعندما أعاد أينشتاين التفكير في أسس الفيزياء، بنى النظرية النسبية الخاصة على افتراضين ، ثبت أنهما ما زالا ثابتين ثبوت الصخر حتى الآن – الافتراض الأول: ينص على أن قوانين الفيزياء (وباقي قوانين العلوم الأخرى) هي نفسها بالنسبة لكل الأطر المرجعية ، التي تتحرك بالنسبة لبعضها البعض بسرعات ثابتة دون أن تغير اتجاهها؛ أي أنه لا توجد طريقة لاكتشاف أنك في وسيلة مواصلات سريعة الحركة كالطائرة ، إلا إذا نظرت خارج الجسم المتحرك، وإذا كان لديك شك في ذلك (لندع جانبًا كل الضجيج والاهتزازات اللحظة) تأمل ما يحدث عندما يسقط منك شيء في سيارتك أو القطار أو الطائرة، سيبدو أنه يسقط في خط مستقيم كما لو كنت في منزلك، وإذا أجريت أي تجربة فيزيائية داخل شيء متحرك أو في المنزل فستحصل على نتائج متطابقة في الحالتين. أما الافتراض الثاني لأينشتاين فهو أن القوانين الكهرومغناطيسية المكتشفة حديثًا هي نفسها في كل الأطر المرجعية ، ومن نتائج هذا الافتراض أن سرعة الضوء ، ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية، ثابتة في كل الأطر المرجعية ، وقد لا يبدو ذلك مفاجئًا إذا قارنا الطريقة التي يختلف بها سلوك الضوء عن كرة البيسبول مثلاً ، فالكرة التي يلقى بها بسرعة من سيارة مسرعة في اتجاهك ستتحرك بسرعة أكبر من تلك التي يلقى بها بواسطة لاعب واقف على الأرض، ففي الحالة الأولى ستعرض حياتك للخطر وأنت تحاول الإمساك بالكرة ، وببساطة لا يسلك الضوء هذا المسلك، فسرعته مطلقة لأنها نفس السرعة بالنسبة لجميع المراقبين.

ومن نقط البداية هذه قدم أينشتاين بعض الأفكار العجيبة التي تجاوزت المفاهيم الشائعة ، لم يهتم أينشتاين بالتخمين فقط ، ولكنه دعم ذلك بحسابات رياضية معقدة ، وقد تعامل مع المكان والزمان ليس كأمور ثابتة لا تتغير في الكون، ولكن كمحاور مرنة ، فقد تضمنت تنبؤاته انكماش الأجسام سريعة الحركة ، وتباطؤ الزمن في السرعات

العالية ، واحتمال التقدم في العمر بمعدلات مختلفة للتوائم (بحيث إنه عندما يعود أحدهما من رحلة في الفضاء سيكون أصغر من ذلك الذي لم يغادر) ، وتكافؤ الكتلة والطاقة الذي يربطهما العلاقة الشهيرة: $E=mc^2$

وأكثر من ذلك وطبقًا لنظرية أينشتاين ، فإن المكان والزمان لا يوجدان منعزلين كمفهومين مستقلين ، فهما مرتبطان بشكل لا يقبل الانفصام ، لدرجة أن علماء الكون – الذين يدرسون الكون ككل – يشيرون إليهما معًا وليسا منعزلين كفضاء ومكان لكن في كلمة واحدة هي "زمكان" (Spacetime) .

وعندما نتناول حجم الكون ، فإننا عادة نعني أبعاده الفضائية، ونتخيل أن المادة توجد داخل هذه الأبعاد، ويمكن أن يتصور معظم الناس هذا المفهوم بسهولة، ولكن المادة توجد في أبعاد الزمان تمامًا على الرغم من أن الزمان غير مرئي، وكان على أينشتاين أن يطرح جانبًا مفهوم الزمن المطلق والحركة المطلقة في نظريته النسبية الخاصة ، فلا يوجد زمن واحد (توقيت واحد) يسري في جميع أنحاء الكون ، هناك فقط توقيت محلي، يتم قياسه في إطار مرجعي معين ذي معنى ، وينساب الزمن نفسه بمعدلات مختلفة تتوقف على سرعة الإطار الذي يقاس بالنسبة له، أو بعبارة أخرى، فإن الحركة في الفضاء تؤثر على الحركة في الزمان ، وقد كانت العلاقة الوثيقة بين الزمان والمكان هي التي تؤدي إلى التنبؤات المذهلة للنسبية مثل تمدد الزمان، وتقلص الأطوال والتكافؤ بين الكتلة والطاقة .

ما هو عدد أبعاد المكان ؟ نحن عادة نتناول ثلاثة أبعاد في الفيزياء.. واحد يتجه من اليسار إلى اليمين ، والثاني من أعلى إلى أسفل ، والثالث من الأمام إلى الخلف (أو العكس). تلك هي الإحداثيات الديكارتية (Cartesian Coordinates) المألوفة لتلاميذ المدارس الثانوية في علم الهندسة ، أما في النسبية ، فإن الزمن هو البعد الرابع المماثل للأبعاد السابقة ، وعادة ما يبدأ رود سيرلنج (Rod Serling) برنامجه التلفزيوني " منطقة الشفق " (Twilight Zone) بالعبارة " هناك بعد خامس وراء ما هو معروف للإنسان" ، وبعده الخامس هذا لم يكن الزمن ، ولكنه بعد رابع مكاني خيالي، وهو البعد الذي يظهر تحت ظروف خاصة ويؤدي إلى اختصار المسافات بين الأماكن

البعيدة ، أو يسمح بالسفر فى المستقبل أو الماضى ، وبالمثل تأتى نفس الفكرة فى مسلسل رحلة نجم "ستار تريك" (Star treck) كسرعة زائغة ، ومن المثير أن البعد المكانى الرابع مفيد عند مناقشة نماذج معينة للكون فى النسبية العامة ، ولا يمكن مشاهدة هذا البعد، ولا يفسر السفر فى الزمان أو القيادة الزائغة فى الخيال العلمى ، وربما يكون البعد الرابع المكانى موجوداً أو غير موجود، لكن من المفيد أن نستعين بمفهوم البعد الرابع حتى ندرك ما الذى يعنيه علماء الكون بتمدد الفضاء .

وأحد طرق الاستعانة بهذا المفهوم هو من خلال المحاكاة . تخيل أن هناك موجة رقيقة من الماء على السطح الرقيق لمحيط واسع – ليست كائنًا منفصلاً عن المحيط ، ولكن جزءًا مترقرقًا منه (وفى الحقيقة و تبعًا النظرية الكمية فى الفيزياء ، فإن كل الجسيمات بما فيها جسيمات الماء من الممكن تحت ظروف معينة أن ينظر إليها كموجات) وتحمل هذه الكائنات عقلاً مفكراً وإدراكًا لعالمها، لكن إدراكها محدود، وبالنسبة لهذه الموجة كما هو الحال بالنسبة للموجات الأخرى ، فإن المحيط يظهر مسطحًا عدا الترقرقات ، وهى ترى فى كل اتجاه تنظر إليه من الماء الممتد حتى الأفق البعيد مستويًا تقريبًا، ولم يحدث أن فكرت هذه الموجات أن للمحيط عمقًا ولا حتى يمكن أن تفكر فى مثل هذا الشىء : لأن الموجات توجد فقط على السطح، ومفهومها المحدود عن سطح الماء مثل المفهوم الدارج للإنسان عن المكان، فالمكان هو ما نوجد فيه، والمكان هو فقط الوسط الذى يمكن لجزيئات مادتنا أن توجد فيه، وحيث إن أجسامنا تتكون من جسيمات ، فإننا يمكن أن نوجد فقط حيث يوجد المكان، وأى نوع آخر من الوجود ليس له معنى بالنسبة لنا .

ولنفترض الآن أن إحدى الموجات تتحرك بسرعة كبيرة فى أحد الاتجاهات ، حتى أنها تصل أخيراً إلى النقطة التى تركت فيها رفيقتها البطيئة ، وتعود الموجة إلى نفس النقطة التى تركتها لأن المكان الموجودة فيه مثل سطح البالون يتحدب على نفسه . تكرر الموجة نفس الحركة بتوقيت مضبوط ، لكن فى كل مرة يزداد زمن الرحلة طولاً . ما الذى يحدث ؟ سرعان ما تدرك إحدى الموجات أن المحيط يزداد حجماً (ينمو) .

ما زالت الموجات لا تدرى شيئًا عن الماء تحت سطح المحيط ، ولم تتخيل أى موجة على الإطلاق أن للمحيط عمقًا ؛ "لأنهم جميعًا لم يشاهدوا إلا موجات أخرى تتحرك

على السطح – فيما يمكن أن نطلق عليه ثنائى الأبعاد، وأخيراً تظهر إحدى الموجات مثل أينشتاين وتقدم نظرية فذة لكنها مثيرة للجدل. تقول النظرية : "تخيل بعداً مكانيا آخر هو نصف قطر كوكبنا المائى" ، وجميعنا يعرف ما هو نصف القطر لأن الدوائر التى نراها على سطح محيطنا لها نصف قطر. حسنًا، فهذا الشكل الأكثر تعقيداً له نصف قطر، ولكنه أيضًا له بعد آخر والذى لم نعلم عنه أى شىء من قبل. ينمو (يزداد) هذا البعد ولذلك يبدو كوكبنا وكأنه يكبر" ، وفى الحقيقة لا تتصور أى من الموجات هذا البعد الجديد لأنها لا تستطيع الحركة إلا على السطح، وليس لديها طريقة للتحقق حتى من وجود منطقة من الماء تحتها، لكنها إذا تمكنت من قياس المسافة الكلية لعالمهم لاكتشفوا أنه ينمو، وسوف يتساءلون "كيف ينمو هذا السطح ؟"، "وكيف تزداد كمية الفراغ (سطح الماء) ؟" ومن السهل تصور ذلك بالنسبة لنا نحن، المخلوقات ثلاثية الأبعاد، لكن بالنسبة لهؤلاء الذين يعيشون فى عالم ثنائى الأبعاد سيكون ذلك صعباً .

أصبح الفلكيون من البشر متيقنين تمامًا أن الكون الذى نحيا فيه يتمدد – وسترى ذلك فى الفصل القادم – وبذا فنحن فى وضع مشابه لكائنات موجات الماء، ولكن وحيث إننا نعيش فى عالم ثلاثى الأبعاد ، فإن علينا أن نتخيل أننا موجودون على سطح كرة رباعية الأبعاد (وهو فى الحقيقة كرة فقط إذا كان الكون محدد البعد – وله نهاية). ليس هذا البعد الرابع زمنًا، بل إنه بعد مكانى؛ لا يمكن مشاهدته مطلقًا. حاول أن تصنع صورة واضحة لهذا الأمر فى ذهنك دون أن تتصور اتجاهًا فى الفضاء ثلاثى الأبعاد المعتاد. على الأرجح لن تستطيع ذلك !

وتستطيل الأبعاد الأربعة أثناء التمدد الذى يكمن فى صلب نظرية الانفجار الرهيب. من السهل جدا تخيل استطالة الأبعاد المكانية الثلاثة الأولى، لكن ليس سهلاً أبدا تخيل البعد الرابع غير المرئى الذى هو "نصف قطر" التمدد. إنه مفهوم لا يمكن تصوره ، وسنورد هنا تفسيراً قد يساعدك على إدراكه. لنأخذ عالمنا المألوف ثلاثى الأبعاد والهندسة التى تصفه . إذا أقحمنا هذه الهندسة فى فراغ رباعى الأبعاد سنجد أن له مركزاً، وسنجد أن كل النقاط فى عالمنا ثلاثى الأبعاد على نفس المسافة (نصف القطر) من هذا المركز – النقطة التى لا توجد فى العالم ثلاثى الأبعاد ، ولكنها موجودة فى البعد الرابع، ولا تتطلب معادلات النسبية العامة وجود البعد الرابع على الإطلاق،

لكنها تتخذ شكلاً أبسط إذا أدخلنا هذا البعد، ولم يتمكن الفيزيائيون بعد من إيجاد طريقة لاختيار ما إذا كان البعد الرابع حقيقيا أو مجرد أداة رياضية، لكن تبعًا لوجهة نظر النسبية العامة ، فإن الكون يتمدد لأن المجرات تندفع بعيداً إلى الخارج بفعل تمدد الفضاء .

وقد يكون هناك أكثر من أربعة أبعاد مكانية ، فقد أدخل علماء الجسيمات النظريون هذه الأبعاد الإضافية لتفسير وجود الجسيمات ، وبعض هؤلاء العلماء يتخيل الفضاء كغشاء عملاق ممدود في عشرة أبعاد، وهم يتصورون جسيمات مثل الإلكترونات والبروتونات كاهتزازات في الغشاء ، وعشرة أبعاد ليست كافية بالنسبة لفيزيائيين آخرين ، فهم يحتاجون إلى ستة وعشرين بعداً لتفسير المادة ! ، وبالرغم من أن العلماء ليسوا متأكدين من حقيقة تركيب الزمكان ، فإن نماذج الانفجار الرهيب - التي سنتعرض لها فيما بعد - تربط مشاهداتنا للكون في نسق منتظم ، ويستطيع علماء الكون أن يحددوا بدقة بعض تساؤلاتنا الأساسية والأكثر أهمية ، وقد يتمكنون من الإجابة عنها في القريب العاجل .

هل الكون محدد (نهائي) أو غير محدد (لا نهائي) ؟ هل سيتمدد إلى الأبد أو سينهار على نفسه ؟ وإذا حدث وانهار على نفسه فهل سيعود ثانية للتمدد أو سيختفي ؟ وإذا كان سيعود إلى التمدد فهل سيستمر التمدد والانكماش في دورات لا نهائية ؟ ما هو حجم الكون الآن ؟ وهل هو منتظم في جميع أنحائه أو هناك بنىً مفضلة ؟ وهل يتكون أساسًا من النجوم والكواكب والغازات والإشعاعات التي نراها أو يتكون غالبًا من بعض المواد غير المعروفة أو من أشكال أخرى من الطاقة ؟ هل يمكن للبشرية أن تبقى حية بعد انهيار الكون واستعادة تمدده؟ دخلت هذه التساؤلات مجال ما يمكن الإجابة عنه منذ مائة سنة فقط عندما بدأ الفلكيون في استيعاب كنه المجرات - الأقراص العظيمة الدوارة التي تحتوي بلايين النجوم ، والتي في غالبها تشبه شمسنا .

الفصل السابع عشر

المجـــــرات

تنتشر في أرجاء السماء تجمعات عديدة من الضوء غير واضحة المعالم ، بعضها عبارة عن سحب غازية ومجموعات من نجوم معتمة موجودة في مجرتنا درب اللبانة، أما البعض الآخر فهي مجرات منفصلة عبارة عن تجمعات هائلة دوارة من بلايين النجوم، وتشبه الكثير من هذه المجرات مجرتنا درب اللبانة - أقراص لها أذرع حلزونية عديدة ، وفي هذه الأذرع هناك مناطق ساطعة، وسحب جزيئية عملاقة حيث تولد النجوم .

ولبعض هذه المجرات الحلزونية قضبان متميزة وحلقات غير معروفة المصدر، ويوجد بعض المجرات الأخرى على شكل تجمعات بيضية الشكل للنجوم لا تحتوي على تركيبات ظاهرية تثير الانتباه ، وهناك مجرات أخرى غير منتظمة الشكل تحجب رؤيتها ستارات هائلة من الغبار .

في سنة ١٨٤٥ أكمل " لورد روس" (Lord Rosse) من إيرلندا بناء ما كان يعرف في ذلك الوقت بأضخم تلسكوب في العالم ، يبلغ قطر مرآته ٦ أقدام وطول أنبوبته يعادل ارتفاع ستة طوابق. وقد اكتشف التركيب الحلزوني للمجرة المعروفة اليوم باسم M-51 باستخدام هذا الجهاز الذي يصعب التحكم فيه، كما اكتشف مجرات أخرى، ولم تظهر مشاهداته أذرعًا فقط ولكن أظهرت مجرة مرافقة للمجرة M-51 المعروفة اليوم باسم مجرة البركة الدوارة (Whirlpool) ، وهذه المجرة مقاربة في حجمها لسحابة ماجلان الكبرى التي تدور حول مجرتنا، ولكن تلسكوباً بهذا الحجم ، وعلى الرغم من ضخامته ، لا يصل إلى درجة فصل كافية لتحديد النجوم كل على حدة ، بيد أن لورد روس خمن ،

كما فعل الفيلسوف الألماني " إيمانويل كانت" Immanual Kant مسبقًا في ١٧٥٥- أن السديم الحلزوني ما هو إلا جزر كونية (Island Universes) تحتوي على عدد لا يحصى من النجوم .

وفي بداية القرن العشرين تم بناء تلسكوبين كبيرين عاليي الجودة على جبل ويلسون المطل على مدينة لوس أنجلوس، واستطاع الفلكيون بهذين التلسكوبين الجديدين (٦٠، ١٠٠ بوصة) أن يميزوا للمرة الأولى نجوماً مفردة في سديم أندروميدا، وهو حلزون متميز آخر، ولكن مهما حدق الفلكي في تلسكوب كبير ، فإنه لا يستطيع حل لغز المسافة التي تبعدها أندروميدا، وفي بداية العشرينيات أصر بعض الفلكيين أن كل البقع غير الواضحة مثل أندروميدا هي سحب من غاز منتشر داخل مجرتنا درب اللبانة، ولكن سرعان ما ظهر دليل جديد هدم هذا الخداع (أي وجود هذه البقع قريبة داخل مجرتنا)، الأمر الذي جهز المسرح لاستقبال علم الكون القائم على نظرية الانفجار الرهيب (Big Bang Cosmology) .

وفي سنة ١٩١٤ نجح فلكي شاب يدعى "فيستو ميلفين سليفر" (Vesto Melvin Sli-pher) من مرصد لويل من جامعة هارفارد في تصوير أطياف (الضوء المتحلل إلى ألوان قوس قزح) لسدم معينة، ظهرت هذه السدم وهي تتحرك مقتربة تارة ومبتعدة تارة أخرى بسرعات أكثر بكثير من سرعات النجوم . بدت مجرة أندروميدا وهي تتحرك تجاهنا بسرعة تقارب ٣٠٠ كيلومتر في الثانية ، بينما تبتعد عنا معظم سدم المجرات الأخرى بسرعات تصل إلى ٢٠٠٠ كيلومتر في الثانية ، ويمثل هذه السرعات فإن السدم كانت ستهرب من مجرتنا إن لم تكن قد فعلت ذلك بالفعل. تلك هي إشارة قوية أن هذه السدم ليست موجودة في مجرتنا درب اللبانة على الإطلاق .

وجد سليفر أن بعض الخطوط في أطيافه قد أزيحت تجاه أطوال موجات أقصر، بينما أزيحت خطوط أخرى تجاه أطوال موجات أطول. ما معنى ذلك ؟ يأتي ضوء المجرة من نجومها ويمتص بعض الضوء - في طريقه خلال المناطق الخارجية للنجم - بواسطة ذرات العناصر المختلفة، وينتج عن هذا الامتصاص خطوط مظلمة ضيقة في الطيف، ويعرف الفيزيائيون أطوال موجات هذه الخطوط بدقة من ملاحظاتهم الشمس

ومن التجارب المعملية، ولكن كانت كل الخطوط مزاحة بنفس النسبة في أطياف سليفر. كان ذلك يعني أن النجم الذي يشع هذه الأطياف يتحرك تجاهنا أو متباعداً عنا بسرعات عالية، ومن المعلوم جيداً في الفيزياء أن الموجات القادمة من مصدر متحرك مثلها مثل الموجات المرصودة بواسطة مشاهد متحرك، ستتغير من أطوال موجاتها (وترددتها)، وتعرف هذه الظاهرة باسم ظاهرة دوبلر (Doppler Effect) .

عندما تمر بنا سيارة مسرعة فإننا نسمع بوقها في البداية بنغم أعلى من المعتاد (طول موجة أقصر)، وعندما تذهب عنا فإن نغمتها تنخفض (طول موجة أكبر)، وفي هذا المقام تسلك موجات الضوء من مصدر متحرك مثل موجات الصوت، وفي كلتا الحالتين تبدو الموجة الخارجة من المصدر الذي يقترب منا وكأنها تنضغط، أي تقل في الطول؛ ويحدث ذلك لأن عدد الموجات التي تمر بنا خلال فترة زمنية معينة أكبر مما لو كان المصدر غير متحرك . وكمثال أكثر وضوحاً فإن عدد الموجات التي تلطم قارباً يسير عكس اتجاهها أكثر من عدد الموجات التي تلطم القارب خلال نفس الفترة من الزمن لو كان القارب يسير في نفس اتجاه الموجات، ويمكنك مشاهدة ظاهرة دوبلر بنفسك إذا استخدمت وعاء كبيراً ضحلاً به ماء، فعندما تنقر على سطح الماء بإصبعك فإنك تصنع نسقًا منتظمًا من موجات دائرية، أما إذا حركت إصبعك خلال الماء أثناء نقرك على السطح : فإن المسافة بين الموجات - طول الموجة - ستكون أصغر في اتجاه حركة الإصبع وأكبر في الاتجاه المضاد .

عندما يبتعد عنا مصدر للضوء مثل نجم ، فإن عدداً أقل من الموجات سيصلنا في الثانية الواحدة، وسيكون طول الموجة المقاس أطول أو أكثر احمراراً (حيث إن موجات الضوء تزداد طولاً تجاه الجزء الأحمر لطيف الضوء المرئي)، ونقول في علم الفلك إن الضوء قد عانى إزاحة حمراء، وبالنسبة للضوء المرئي فإن هذا يعني إزاحة تجاه الطرف الأحمر - الموجات الأطول - للطيف، وعندما يكون المصدر مقترباً منا، فإن طول الموجات المقاس يكون أصغر مُزاحًا تجاه الطرف الأزرق - (الموجات الأقصر) للطيف، وتسمى ذلك إزاحة زرقاء، وإذا كان المصدر يتحرك ببطء نسبياً، فإن الإزاحة ستكون صغيرة ولن يحدث تغير يذكر في اللون. لن يبدو الخط الذي عانى إزاحة حمراء بالضرورة بلون أحمر، وكذا الإزاحة الزرقاء لا تمنح الخط بالضرورة لوناً أزرق، لكن

إذا كانت حركة المصدر سريعة جدا، فإن إزاحة دوبلر قد تكون من الكبر بحيث تنقل "الخط المرئي" مسافة كل الطيف المرئي وتضعه في المناطق المجاورة له وهي تحت الحمراء أو فوق البنفسجية . وحيث إننا نعرف مواضع خطوط الطيف بدقة عالية ؛ فإننا نستطيع قياس السرعات النسبية للنجوم والمجرات والأجرام الفلكية الأخرى بدقة مذهلة ، ولا تعتمد السرعة على الخط الذي اخترناه لأن كل خطوط الطيف تزاح بنفس المقدار .

ومع أن سرعات سدم المجرات بدت أكبر من أن تكون داخل مجرتنا – كما تم قياسها باستخدام إزاحة دوبلر – إلا أن بعض الفلكيين لم يقتنعوا أنها من خارج مجرتنا، ولقد حُسم هذا الجدل أخيراً سنة ١٩٢٤ ، وبينما كان الفلكي إدوين هابل يصور السدم من مرصد جبل ولسون اكتشف العديد من النجوم الخافتة التي تغير من ضوئها على دورات تستغرق أياماً، ويوجد أحد هذه النجوم في سديم أندروميدا، وقد أثبت هابل أن هذه النجوم التي تسمى سيفيدات (Cepheids) من نوع ذي فائدة كبيرة لتقدير المسافات .

والسيفيدات نجوم عملاقة يبلغ توهجها عشرة آلاف مرة مثل توهج الشمس، وهي من البريق بحيث ترى من مجرات بعيدة (لكن ليست بعيدة جدا) . وتتمدد وتنكمش هذه النجوم في نسق منتظم لأنها تعاني من عدم استقرار غريب، وعندما تكون أكبر فإنها تصبح أكثر سطوعاً، أما عندما تصير أصغر فإنها تكون أكثر عتامة، وتتم بعض هذه النجوم دورتها في فترة تستغرق بضعة أيام، أما البعض الآخر مثل نجم الشمال بولاريس، فإن سطوعها يقل بنسبة مئوية ضئيلة فقط، وفي عام ١٩١٢ اكتشفت هنريتا ليافت (Henrietta Leavitt) أن السيفيدات ذات الدورة الأطول هي الأكثر سطوعاً، وبدراسة أبعد مدى وجدت علاقة بسيطة بين دورة السيفيدات ودرجة سطوعها، وفي أيام هابل أصبحت المسافة إلى بعض السيفيدات داخل مجرتنا معروفة، وقد اكتشف في سنة ١٩٢٤ نجماً من السيفيدات في مجرة أندروميدا، الأمر الذي أدى إلى تقدير بُعد المجرة عنا .

استنتج هابل شدة سطوع النجم (أي كمية الطاقة التي يشعها أصلاً) من دورة النجم الجديد في أندروميدا وقانون ليافت ، وبالتالي يمكن حساب بعد النجم من درج

سطوعه بالنسبة للمشاهد من سطح الأرض باستخدام قانون التربيع العكسي المعروف جيداً والخاص بخفوت السطوع مع زيادة المسافة، وقد اكتشف هابل أن مجرة أندروميدا تقع بعيداً عن مجرتنا درب اللبانة بعدة مئات الآلاف من السنوات الضوئية، والرقم المقبول لبعد أندروميدا اليوم هو ٢٫٣ مليون سنة ضوئية ؛ أي أكبر من قطر مجرتنا بأكثر من عشرين مرة .

أصبح الكون بهذا الاكتشاف فوراً أكثر اتساعاً، وبحلول العشرينيات صور الفلكيون وسجلوا آلاف المجرات. كانت كلها تقريباً أكثر عتامة من أندروميدا ويتطلب اكتشافها استخدام أقوى التلسكوبات الموجودة وقتها، وحيث إنها كانت تجمعات هائلة للنجوم مثل مجرتنا درب اللبانة ، بيد أنها كانت على هذه الدرجة من العتامة، فلابد بالتالي أن تكون أبعد كثيراً من أندروميدا، وقد تيقن الفلكيون أن الكون لابد أن يكون في الحقيقة شاسعاً .

استمر هابل ومعاونه الرئيسي ميلتون هيوماسون في اكتشاف المتغيرات السيفيدية في المجرات القريبة، وقاموا بتصوير أطياف المجرات مثل سليفر، وبحلول سنة ١٩٢٩ كانوا قد قاموا بتعيين كلٍ من سرعة ومسافة عدة عشرات من المجرات وحتى مسافة ٦ ملايين من السنوات الضوئية، وقد أظهرت بياناتهم اتجاهاً مدهشاً، حيث بدا أن عدداً قليلاً فقط من المجرات القريبة يتحرك مقترباً منا، أما باقي المجرات فكانت تتطاير مبتعدة عنا بسرعات عالية تزيد عن ١٠٠٠ كيلومتر في الثانية في بعض الحالات، وكلما كانت المجرة أسرع في تباعدها عنا كانت مسافتها أبعد.

وبحلول عام ١٩٣١ امتدت أبحاث هابل وهيوماسون لتشمل المجرات التي تبعد عنا ١٠٠ مليون سنة ضوئية، التي تصل سرعات تباعدها إلى ٢٠ ألف كيلومتر في الثانية، أي سبعة بالمائة من سرعة الضوء ، وقد قاموا بقياس السرعة من ظاهرة دوبلر وعينوا مسافاتها بناء على درجة سطوع المجرة . ظل هذا الاتجاه المدهش سارياً وجاءت بياناتهم لتناسب تماماً علاقة الخط المستقيم بين سرعة التباعد والمسافة ، وبعبارة أخرى فإن المجرات كانت تتطاير متباعدة عنا بسرعات تتناسب طردياً مع بعدها، وسمي هذا الاكتشاف الأخاذ الذي يشكل أساس علم الكون بقانون هابل .

وينص قانون هابل على أن الكون يتمدد لكن ليس بالضرورة بمفهوم النسبية العامة، بمعنى أن مشاهدات هابل كانت متفقة مع كل من فكرة انفجار المادة داخل الفضاء الخالى (وهى فكرة خاطئة)، والفكرة المقبولة عموماً اليوم عن انفجار الفضاء نفسه، وقد طبق أينشتاين معادلات النسبية العامة على الكون فى وقت مبكر فى سنة ١٩١٦، وقد وجد بصورة مخيبة لآماله أن معادلاته لا تتوافق مع الكون الاستاتيكى (الساكن)، فإن لم تكن النجوم (أو المجرات) تتحرك (كما افترض أينشتاين) ولكن توجد موزعة بانتظام فى الفراغ؛ فإن تجاذبها المتبادل سيؤدى حالاً إلى انهيار الكون، ومن أجل حل هذه "المعضلة" أضاف أينشتاين إلى معادلاته "ثابتًا كونيا" هو معامل تنافر حتى يجعل الكون استاتيكيا ساكنًا ، ولو كان أينشتاين يثق فى ما وصلت إليه معادلاته وتمكن من التنبؤ بأن حجم الكون يتغير، لكان قد توصل إلى أعظم اكتشاف على طول الزمان، لكنه لم يفعل، وبهذا فإن اكتشاف تمدد الكون يعود بالكامل إلى هابل .

وتؤدى بنا فكرة التمدد إلى استنتاج أن المجرات، وبالتالى الكون، كانت يومًا ما أصغر، منحين جانبا بعض قوانين الفيزياء الأساسية ، واكتشاف هابل لتمدد الكون هو التفسير الأساسى لنظرية الانفجار الرهيب، ولا يعنى الكون المتمدد ضرورة أن تكون كل مجرة فى حالة تباعد عنا، فقد تكون المجرات الأقرب إلينا مثل أندروميدا مرتبطة جاذبيًا بمجرتنا أو فى حالة حركة عشوائية ليست ذات مغزى كونى، وفى الواقع فإن أندروميدا تتحرك تجاهنا ، بيد أنه لم تكتشف مجرة واحدة من المجرات البعيدة (تفوق فى بعدها بعد أندروميدا عنا بعدة مرات) فى حالة اقتراب منا، وحيث إن المجرات المفردة أو تجمعات المجرات قد تكون مرتبطة ببعضها بواسطة قوى الجاذبية المحلية ، فإننا يجب أن نفكر فى أن التجمعات الكبيرة أو الفائقة للمجرات كوحدات بناء للكون تخضع لتمدد هابل .

ويعنى قانون هابل أننا لسنا فى مركز الكون المتمدد، ففى الواقع لا يوجد مثل هذا المركز (عدا احتمال وجوده فى البعد الرابع المكانى)، وعلى العكس فإن المشاهد من اى مجرة سيرى المجرات الأخرى تتباعد متسارعة وسيحصل على نفس العلاقة بين سرعة التباعد وبعد المجرات عنه ، وهذه النقطة من الأهمية بالنسبة لنظرية الانفجار الرهيب ، لذا سنقوم بشرحها على عوالم خيالية ذات بعد واحد وبعدين وثلاثة أبعاد .

فكما رأينا فإن لكوننا على الأقل ثلاثة أبعاد مكانية (البعد الرابع المكانى مفيد فى فهم نماذج الكون المغلق) ؛ لذلك فإن كل تفسير من التفسيرات الآتية هو مجرد محاكاة وليس مناقشة لعالم حقيقى .

حالة البعد الواحد : تخيل عقداً من المجرات يلتصق بشريط مطاطى قابل للمط (انظر الشكل ١٧-أ) تبعد المجرات عن بعضها بمسافات متساوية تساوى مليون سنة ضوئية (Mly) ، وبالنسبة للمشاهد من المجرة التى تبعد ٣ Mly على الشريط المطاطى ، فإن المجرتين عند ٢ Mly و ٤ Mly تبدوان متباعدين بنفس السرعة . أما المجرتان ١ Mly و٥ Mly فإنهما يتباعدان بضعف سرعة المجرتين الأقرب ؛ لأن الشريط المطاطى المتمدد يحملهما ضعف المسافة فى نفس الفترة الزمنية، وبالمثل فإن المجرتين ٥Mly و ٦ Mly تتباعد كل منهما بثلاثة أضعاف سرعة تباعد المجرتين الأقرب ، كما يتطلب قانون هابل ، وسيصل المشاهد من مجرة فى موقع مختلف عن ٣ Mly إلى نفس النتائج، ويؤدى قانون هابل إلى نتيجة أن الكون يبدو متماثلاً بالنسبة للمشاهد من كل المجرات .

حالة البعدين : تصور نسقين من القواشيط (حجر الداما) فوق لوحة مطاطية متمددة تمثل مواقع المجرات فى لحظتين من التاريخ (انظر الشكلين ١٧ -ب ٢،١) ، ويمكن تخيل أن التغير بين زمنين راجع إلى التمدد المنتظم للفراغ (اللوحة) بين المجرات، والذى يظهر المجرات البعيدة فى حالة تباعد، وفى الشكل الثالث (١٧-ب ٣،) وضع النسقان فوق بعضهما مع الاحتفاظ بالمجرة المركزية فى نفس الموقع لكل منهما، وبين الأسهم المسافة المقطوعة بواسطة كل مجرة كما تشاهد من المجرة المركزية ، وليس هناك ما يميز المجرة المركزية عن غيرها ، فيمكن الحصول على نفس النسق إذا وضعنا الشكل الأول والثانى فوق بعضهما مستخدمين أية نقطة كمجرة مركزية ليس بالضرورة النقطة الموجودة فى وسط اللوحة ، ويمكن أن تتأكد من ذلك بنفسك بنسخ الشكلين ١٧ -ب٢،١ على شفافيات وتجربة ذلك .

حالة الأبعاد الثلاثة : تخيل رغيفًا من خبز الزبيب ينضج فى الفرن ، أخرجه من فالبه وهو يتمدد فى الأبعاد الثلاثة بحيث تتضاعف جميع المسافات فى الرغيف بمجرد

إخراجه من الفرن (انظر الشكل ١٧ – جـ)، تمثل كل حبة زبيب مجرة، ويتناسب معدل ابتعاد كل حبة عن الأخريات تناسباً طردياً مع المسافة بينها، إذا ضاعفنا المسافة بين حبتين فإن سرعة تباعدهما الظاهرية ستتضاعف أيضاً، وفي رغيف الزبيب هذا فإن تمدد العجين يدفع بحبات الزبيب بعيداً عن بعضها البعض ، وفي الكون يحمل الفضاء المتمدد المجرات إلى مسافات أبعد وأبعد عن بعضها البعض – وسيرى المشاهد من فوق حبة الزبيب (المجرة) كل حبات الزبيب الأخرى وهي تتباعد، عدا حافة الخبز. فإن المنظر هو نفسه من فوق كل حبة، لا تتحرك حبة الزبيب بالنسبة للرغيف لكنها تنتقل مع تمدد الرغيف نفسه .

ومع ذلك ينهار هذا التشابه لأن الكون لا يملك قشرة ولا حوافٍ مثل رغيف الزبيب .

ويتواصل خلق الفضاء في كل الأبعاد المكانية بمعدل منتظم ، وكلما زادت المسافة بين مجرتين ، زادت كمية الفراغ الذي يخلق بينهما .

ينطبق التمدد المنتظم للفراغ فقط على المسافات الشاسعة بين المجرات، ولا ينطبق على المسافات بين الأجسام الثقيلة مثل النجوم ، والتي تؤثر بشدة في هندسة الفراغ الملاصق لها مباشرة تبعاً للنسبية العامة ، كذلك لا ينطبق على المسافات بين الجزيئات والذرات داخل المادة أو بين الإلكترونات والجسيمات تحت الذرية الأخرى، ويتحكم اتزان القوى الكمية والكهرومغناطيسية – ليست الجاذبية[1] – في هذه المسافات، وينطبق نفس الشيء على الأشياء العادية بما في ذلك أجسامنا ، فهي الأخرى يتم التحكم فيها أساساً بواسطة القوى الكمية، لذا فإن الأرض لن تنمو بتمدد الكون وكذلك أجسام المشاهدين ولا مقاييس الطول المستخدمة، وإلا أصبح تمدد الفضاء وتباعد المجرات يتم دون ملاحظته إطلاقاً! وعلى كل فإنه من الطريف أننا لو لم نكن مترابطين بواسطة بعض القوى لتمكن تمدد هابل من أن يجعلنا نتمدد .

ويعد طيران المجرات واحداً من عدة ظواهر مهمة تعزز نظرية الانفجار الرهيب، إلا أنه رئيسي في هذا الشأن، وترتبط كل ظاهرة بالأخرى بشكل رائع . وتعطي قوة

(١) ونعني بالقوى الكمية تلك القوى المكافئة المستنتجة من مبدأ باولي للاستثناء ، وتؤدي حقيقة أنه لا يمكن لجسيمين أن يوجدا في نفس الحالة الكمية إلى نشوء قوى تنافر على المستوى تحت الذري .

هذا الترابط، أكثر من أي شيء آخر، الفلكيين والفيزيائيين الثقة في أن علم الكون القائم على نظرية الانفجار الرهيب هو حتماً على صواب .

ربما تكون الصعوبات والمجادلات التي أثيرت تفاصيلها في الصحف والمجلات شيئاً مهماً، غير أن المشاهدات تمثل حجر الأساس في الانفجار الرهيب، وقد درست كل العلاقات التي جاء بها تتبع الكون إلى الوراء في الزمن عندما كان أكثر كثافة مما هو عليه الآن .

وقد قام جورج جامو و رالف ألفر Ralph Alpher وروبرت هيرمان Robert Herman بتتبع مثل هذا لأول مرة في أواخر الأربعينيات، وقد أشرنا إلى ذلك في الفصل الثاني عشر أثناء مناقشة أصل المادة، وقد تحقق جامو ومعاونوه من أنه لو كان الكون المبكر المضغط يتكون فقط من الهيدروجين؛ فإن العناصر الأخرى يمكن أن تخلق بواسطة الاندماج النووي، وقد قاموا بتتبع التمدد إلى الوراء حتى الأزمنة التي كان فيها الكون ذا كثافة ١٠ ٢٠ ضعف ما هو عليه الآن (١ أمامه ٢٠ صفراً أو مليون تريليون تريليون) إلى زمن الكرة النارية الأولية كما كانت عليه لبضع دقائق بعد الانفجار الأصلي. والكون اليوم مكان بارد جداً يستمد كل حرارته من النجوم، وليس لهذه الحرارة (من النجوم) علاقة بالانفجار الرهيب أكثر من علاقة حرارة المدفأة بهذا الأمر، لقد تيقن جامو ومعاونوه أن الكون البارد والمتمدد قد نتج عن انفجار رهيب ساخن أو بارد، إلا أن كمية الهليوم المتكونة والتي نلاحظها اليوم لا يفسرها إلا انفجار رهيب ساخن ، وتبعاً لنظرية الانفجار الرهيب فإن الكون يبرد عندما يتمدد مثل ما يحدث لغاز ينطلق من فتحة ضيقة تحت ضغط ، وعلى النقيض فإن الغاز يسخن عندما يتضغط كما يحدث في محرك السيارة ، وترتفع درجة حرارة محرك الديزل أثناء شوط الانضغاط بدرجة كبيرة حتى إن الاشتعال يبدأ بمجرد حقن الوقود حيث لا حاجة للشرارة، وعليه فإنه إذا حدث يوماً أن تحول الانفجار الرهيب إلى انهيار (في سيناريو عكسي) فمن المتوقع أن ترتفع درجة حرارة الكون مرة ثانية .

ويتطلب الانفجار الرهيب أن يكون الكون مليء بالإشعاع، والبلازما الساخنة التي تخيلها كل من جامو وألفر وهرمان لابد أن تبث وتمتص الإشعاع الكهرومغناطيسي ، كما يشع سطح الشمس الضوء والأشعة تحت الحمراء التي تدفئ الأرض، وكان لابد

لهذا الإشعاع البدائي أن يشتت بصورة مستمرة الإلكترونات الحرة على مدى ما يقرب من نصف مليون سنة بعد الانفجار الرهيب، وعندئذ فإن كثافة ودرجة حرارة المادة لابد وأن تنخفض إلى الدرجة التي يتمكن فيها معظم الإلكترونات والبروتونات من الاتحاد لتكوين ذرات الهيدروجين المتعادلة، وسوف يتوقف بعد ذلك تشتت الإشعاع وبعبارة أخرى سوف يصبح الكون صافياً للإشعاع الكهرومغناطيسي وليس معتماً، وأي إشعاع كان موجوداً بعد نصف مليون سنة من بداية الكون سوف يحتفظ به بواسطة التمدد الهائل الذي تبع ذلك ، بالرغم من أن أطوال موجات هذا الإشعاع قد استطالت جداً بتأثير إزاحة دوبلر كما انخفضت درجة الحرارة بشكل كبير.

وقد تنبأ جامو ومعاونوه بأن بقايا الإشعاع قد يكون خافتاً وله درجة حرارة مميزة حوالي ١٠ كلفن - أي ما يكافئ إشعاع ميكروي منخفض الطاقة - ولم يكن هناك اندفاع نحو اكتشاف هذه الخلفية الإشعاعية حيث إن التقنية المطلوبة لاكتشاف الموجات الميكروية المنخفضة الطاقة لم تكن قد وجدت بعد، ونتيجة لذلك فإن تنبؤات جامو عن الخلفية الكونية كادت تنسى تماماً .

الفصل الثامن عشر

الموجات الميكروية السماوية

قبل استخدام الدوائر الإلكترونية التي تحجب الصخب من أجهزة الراديو والاستريو: كان الضجيج المزعج الموجود بين المحطات معروفاً للجميع، وما زالت الاضطرابات الكهربية تعرقل محطات الإرسال أحياناً وتحدث هذا الضجيج المزعج في أجهزة الراديو، وفي سنة ١٩٦٥ قام فلكيا الراديو أرنو بنزياس (Arno Penzias) وربرت ويلسون (Robert Wilson) من معامل شركة بل للتليفونات بقياس ضجيج الراديو المجري (نسبة إلى المجرة) الذي يمكن أن يتداخل في الاتصال مع الأقمار الصناعية، وجه الفلكيان الهوائي أو التلسكوب الراديوي بعيداً عن قرص درب اللبانة في اتجاه هالة المجرة، فالتقطا إشارة صغيرة وغريبة للخلفية لم يتمكنا من التخلص منها.

أثبتت التلسكوبات الراديوية جدواها في اكتشاف مصادر الطاقة في السماء، والتي كان يصعب رؤيتها بالأجهزة الضوئية، وكان الفلكيون يعرفون أن بعض المجرات تبث إشعاعاً كهرومغناطيسيا قويا في المدى الراديوي والميكروي، ولقد عرف أن بقايا المستعرات العظمى ومناطق تكون النجوم في مجرتنا هي مصادر قوية لهذا الإشعاع، وقد ساعدت الموجات الراديوية في تحديد بنية مجرتنا درب اللبانة باستيضاح الأذرع الحلزونية التي كانت محجوبة وراء غبار المجرة، وفي غضون ثلاث سنوات فقط فوجئ العلماء بأول نابض (بولسار) راديوي محير.

لم يكن بنزياس وويلسون يحاولان إحداث كشف فلكي، لكنهما كانا يحاولان التخلص من إشارة كاذبة واضحة، وجد الفلكيان داخل الهوائي الخاص بهما روث حمام يمكن أن يكون مُشعاً، وبعد تنظيف شامل للهوائي انخفضت الإشارة، لكن

بنسبة ضئيلة، وحيث إن الدوائر الكهربية تحدث ضجيجًا راديويًا ؛ فإن الإشارة التى حصل عليها بنزياس وويلسون قد يكون مصدرها المكبر الخاص بهما، ولكن بعد أن استبعدا ضجيج الضخم وضجيج الراديو الناتج عن الغلاف الجوى ظل الصخب باقيًا فاستنتجا أن مصدر الإشارة لابد أن يكون الفضاء.

ولكن وجد أن قوة الإشارة لا تعتمد على اتجاه الهوائى ولا أوقات السنة أو اليوم، فإذا كانت قادمة من الفضاء، فإنها لا تأتى من جسم منفرد متمركز فى نقطة، وبتوجيه الهوائى نحو قرص المجرة لم تزدد الإشارة قوة ؛ لذلك فقد استنتجا أن الإشارة لا تأتى من المجرة ولكن من مصادر أخرى غير معلومة.

يجب ألا نقلل من شجاعة بنزياس وويلسون بإعلانهما أن الإشارة التى استقبلاها أتت من مصدر خارج مجرتنا. لم تكن تلك الإشارة مثل أية إشارة التقطت من قبل، ولقد بدت وكأنها تأتى من كل مكان، وعادة عند ما لا تعتمد الإشارة على اتجاه الهوائى، فإنها تكون آتية من داخل الهوائى نفسه، ولاستبعاد هذا الاحتمال لابد من فهم الهوائى فهمًا جيدًا كما فعل بنزياس وويلسون.

كانت شدة الإشعاع المقاس تبعًا للنظرية الكهرومغناطيسية تقابل ما ينبعث من صندوق من المادة جدرانه فى درجة حرارة ٣ كلفن (أى ثلاث درجات فوق الصفر المطلق– وفى الاستخدام الحديث نقول إن الحرارة كانت "ثلاثة كلفن")، ولقد وجد الباحثون فيما بعد أن ذلك الإشعاع الغامض له طيف قريب جدا من الطيف المتوقع لـ " صندوق أسود " أو مصدر مثالى للإشعاع[1]، إنها أكثر الإشارات التى تم اكتشافها قدمًا وهى خلفية باهتة من الموجات الميكروية التى تأتى من خلف كل شىء يمكن أن يراه الفلكيون.

(١) منذ ما يقرب من مائة عام قام ماكس بإرساء الفيزياء الكمية باستنباط معادلة لشدة الإشعاع (كدالة من طول الموجة) الذى ينبعث بواسطة جسم معتم عند أى درجة حرارة. وليس بالضرورة أن يكون لون هذا الجسم أسودا. فأى جسم فى حالة اتزان حرارى مع الوسط المحيط يصلح لذلك مثل قرص المنضدة أو رجل كرسى أو مؤخرة عنقك. وكل واحد من هذه الأشياء العادية يشع طاقة كهرومغناطيسية على الأغلب فى شكل حرارة أو أشعة تحت حمراء.

وفى البداية سجل بنزياس وويلسون أن شدة الإشعاع القادم من اتجاهات مختلفة كانت مختلفة فى حدود أقل من ١٠ ٪ ، بحيث إن القياسات التى أجريت بعد ذلك بواسطة آخرين قد حسنت هذا الرقم إلى أقل من ١٪ . كانت هذه الخاصية من خواص الإشعاع أكثرها صعوبة فى التفسير.

كاد بنزياس وويلسون أن يزعما أن ما اكتشفاه له مغزى كونى مهم، وقد أعطيا مقالهما عن هذا الاكتشاف العنوان المتواضع "قياس درجة حرارة الهوائى الزائدة عند ٤٠٨٠ مليون ذبذبة فى الثانية (4080Mc/s) " ، ولكن فى نفس الوقت نشر روبرت دايك Robert Dicke و ب. ج. رول P. G. Roll و ب.ج أى بيبلز P. J. E Pebles . D وديفيد ويلكنسون David Wilkinson الفلكيون الفيزيائيون من جامعة برنستون– مقالا اقترحوا فيه أن الخلفية الإشعاعية المكتشفة بواسطة هوائى معامل بل (Bell) ليست إلا بقايا الانفجار الرهيب، وفى الوقت الذى قام بنزياس وويلسون باكتشافهما كان دايك وزملاؤه يقومون ببناء المستقبل الخاص بهم لرصد الموجات الميكروية الكونية على وجه التحديد، وكان بيبلز على وشك أن ينشر حسابات جديدة لدرجة الحرارة المتوقعة. كانت حججهم مماثلة لحجج جامو ومعاونيه المشار إليها فى الفصل السابق.

وبناء على نظرية الانفجار الرهيب البسيطة، فإن الأجزاء المختلفة من السماء التى تبث الموجات الميكروية لم تكن قريبة بما فيه الكفاية من بعضها لتصل إلى نفس درجة الحرارة ، والوسيلة الوحيدة التى يمكن بها أن تصبح شدة الإشعاع منتظمة ولو فى حدود ١٠ ٪ هى أن نفترض أنها منتظمة منذ البداية (وبعد مدة تمكن نموذج آخر لنظرية الانفجار الرهيب المسمى النموذج التضخمى من حل هذه المعضلة).

وفى السنوات التالية قام الباحثون المزودون بهوائيات الراديو الأرضية بالبحث المدقق عن أى اتجاه تفضيلى لإشعاع الجسم الأسود ذى الثلاث درجات، لكن دون جدوى، وقد تقاربت حسابات درجات الحرارة المتوقعة مع القيمة المقاسة. كذلك تم ملاحظة انحرافات ضئيلة عن طيف الجسم الأسود؛ لأن للانبعاث الراديوى من مجرتنا طيف مختلف تمامًا، وبحلول منتصف السبعينيات وافق كل الفلكيين الفيزيائيين تقريبًا

على اعتبار أن الإشعاع الميكروى المنتشر الذى اكتشفه بنزياس وويلسون هو من بقايا خلق العالم ، أى أنه "صدى" الانفجار الرهيب ، وحصل باحثو معامل «بل» على جائزة نوبل.

لماذا كان اكتشافهم بهذه الأهمية ؟ فوجود الخلفية الإشعاعية المنتظمة بجانب تمدد هابل أقوى ما نملكه من أدلة على نظرية الانفجار الرهيب، وتؤكد هذه الأدلة افتراضات جامو أن الكون المبكر كان ساخناً جداً، حيث إن الموجات الميكروية التى نشاهدها الآن لابد أن تكون قد انبعثت أصلاً من بلازما درجة حرارتها تقدر بالآلاف، ويدل الانتظام الشديد للإشارة الميكروية على أنه بالرغم من أن الانفجار الرهيب كان يفوق الخيال فى عنفه ، فإنه قد تم بطريقة سلسة – مثل السطح الساطع جدا للشمس – ولكنه منتظم، وتنبعث الإشارة الميكروية الكونية من الكون المبكر مباشرة كما كانت عليه حالته بعد نصف مليون سنة من الانفجار الأصلى، ومن المعلوم أن الإشارات القادمة من أبعد المجرات والكوازارات تكون أصغر عمراً وتأتى من مسافات أقرب إلى الخلفية الإشعاعية، والعلاقة بين العمر والبعد بسيطة، فالخلفية الإشعاعية الكونية التى نلاحظها الآن هى بالتقريب من عمر الكون نفسه، أى ١٢ بليون سنة تقريباً (١) ؛ بمعنى أنها قطعت مسافة ١٢ بليون سنة ضوئية بسرعة الضوء لتصل إلينا.

وقد تحقق الفيزيائيون الفلكيون مبكراً من أن دراسة الخلفية الإشعاعية الميكروية قد تؤدى إلى حلول حيوية للغز البنية الكلية للكون وربما للأصل الغامض للمجرات – إذا حدث واكتشفنا نسقا توجيهياً، وقد توصلو بالفعل إلى ضالتهم المنشودة ، إلا أن ذلك استغرق أكثر من خمس وعشرين سنة.

وبدون توجيه معين، فإن الخلفية الإشعاعية زودتنا بدليل على أن الكون منتظم فى جميع الاتجاهات إذا نظرنا إليه بمقياس كبير بدرجة كافية، وقد أدهش هذا الانتظام الكثير من الفلكيين؛ لأنهم كانوا يتوقعون أن يروا بقعًا ساطعة (أى ساطعة فى شدة

(١) اكتشف تلسكوب هابل الفضائى مجرة تبعد عنا ١٢ بليون سنة مما جعل أحدث تقويم لعمر الكون يقترب من الرقم ١٢ بليون سنة (المترجم)

الإشعاع الراديوى) فى السماء فى الأماكن التى تكونت فيها المجرات، كما توقعوا أن يروا بعض التغيرات فى شدة الإشعاع، حيث إن الأرض تدور حول الشمس، والمجموعة الشمسية تتحرك فى الفضاء مع دوران المجرة .

وكانت درجة الحرارة الملاحظة للخلفية الإشعاعية منخفضة تصل إلى ثلاث درجات كلفن، إلا أنه عندما تكون الهيدروجين من الإلكترونات والبروتونات المنزوعة من البلازما كانت درجة الحرارة أعلى بكثير وتصل إلى حوالى ٥٠٠٠ درجة، وفى تلك اللحظة كون الإشعاع المتشتت من الإلكترونات للمرة الأخيرة مع المادة التى تكونت من الإشعاع – غلافاً متمدداً يحيط إحاطة تامة بموقعنا فى الفضاء ، والإشعاع الذى يقابل درجة ٥٠٠٠ هو فى المدى المرئى وتحت الحمراء، ويماثل كثيراً ضوء الشمس ، وهو الإشعاع الذى يمكن أن يراه مشاهد يتحرك مع البلازما ، ونتيجة لسرعة ابتعاد البلازما عن الأرض (بسبب تمدد الكون)، فإن الإشعاع يعانى من إزاحة حمراء فيتحول من المدى المرئى إلى الميكروى ويقابل حوالى درجة ٣ كلفن ، وتأتى هذه الإزاحة الحمراء الهائلة (والتى تقابل زيادة فى طول الموجة تصل إلى ١٥٠٠مرة) من السرعة الفائقة لتمدد غلاف البلازما كما نراها من إطارنا المرجعى .

وحيث إننا نفضل أن نصف الانفجار الرهيب بأنه انفجار الفضاء، فإنه من الأنسب أن نقول عن معدل تمدد الغلاف بأنه المعدل الذى يتزايد به الفضاء بيننا وبين الغلاف، وكما شاهدنا فإن معدل خلق الفضاء بيننا وبين أى جسم مثل سرعة مجرة هاربة يتناسب مع المسافة التى تفصلنا عن الجسم موضع المشاهدة، وبمرور الزمن فإن موجات الخلفية الإشعاعية الكونية التى تسجلها سوف تأتى من مناطق أبعد وأبعد فى الفضاء، وحيث إن هذه المناطق تتحرك مبتعدة بسرعات متزايدة؛ فإن الإشعاع الذى نراه سوف يعانى من إزاحة حمراء أكثر وأكثر؛ ولذا ستكون درجة حرارته أقل من ٣ كلفن، وعندما يصل عمر الكون ضعف ما هو عليه الآن، فإن أى فيزيائى فلكى موجود وقتها فى مجرتنا سوف يسجل درجة حرارة هذه الخلفية فى حدود ١,٥ كلفن؛ أى نصف الدرجة الحالية .

وقد أصبحت نظرة الفلكيين إلى نظرية الانفجار الرهيب أكثر جدية بعد اكتشاف الخلفية الإشعاعية الكونية، وتنبأت النظرية بأن طيف الإشعاع (شدة الإشعاع عند

أطوال موجات مختلفة) سيكون مشابهاً لطيف جسم أسود، وقد تمت ملاحظة ذلك التشابه فعلاً، وفقدت النظريات المعارضة، مثل نظرية الحالة المستقرة عن خلق المادة المستمر بين المجرات، مؤيديها بمعدلات متزايدة، وبحلول نهاية السبعينيات أصبحت نظرية الانفجار الرهيب هي النموذج القياسي للكون المبكر، وصارت نظرية الحالة المستقرة في طي النسيان، ولم يبق إلا القليل من الشك في أن كوننا قد ولد وسط كارثة، وأنه ما زال سابحاً في بقايا إشعاعية منذ ولادته .

وبالرغم من أن معظم الفيزيائيين الفلكيين أصبحوا يعتقدون أن الخلفية الميكروية تعم الكون ، فإنهم ما زالوا قلقين بشأن انتظام هذه الخلفية، والأرض تتحرك في الفضاء، وبالتالي فإنها لابد أن تتحرك بالنسبة للخلفية الإشعاعية ، و هذه الحركة لابد أن تكون قابلة للقياس كزيادة في شدة الإشعاع ودرجة حرارته في اتجاه حركة الأرض، وهو ما يسمى بالمصطلحات التقنية (الاتجاه غير المتساوي) (أنيزوتروبي Anisotropy) ، فإذا لم نتمكن من اكتشاف هذا الاختلاف، فإن هناك خطأ جسيماً قد يكوِّن كل أفكارنا عن الانفجار الرهيب .

ويعتمد إدراك حركة الأرض على ظاهرة دوبلر، التي تمثل مقداراً ضئيلاً من الفيزياء، ولكنه كان أساسيا في إثبات أن الكون يتمدد، لكن في هذه الحالة وبدلاً من مجرد قياس الضوء الذي نتلقاه من النجوم المتباعدة، فإننا نحن أنفسنا نتحرك خلال بحر من الإشعاع الميكروي ، ويشبه ذلك ما يحدث في حياتنا اليومية مثل الاختلاف بين صوت بوق سيارة ثابتة وأخرى متحركة، فإذا كانت السيارة متحركة وأنت ثابت على جانب الطريق ستسمع ارتفاع النغمة ثم انخفاضها، أما إذا كنت في سيارة متحركة والبوق في سيارة ثابتة فستسمع نفس التغير في النغمة، وبحركة الأرض خلال الموجات الميكروية الكونية، فإن العلماء يتوقعون أن يروا بالمثل زيادة في سطوع الضوء، أو ارتفاعاً في درجة الحرارة في اتجاه معين .

ما هي سرعة حركة الأرض ؟ فهي تهرع حول الشمس بمتوسط سرعة يصل إلى ٣٠ كيلومتراً في الثانية، وتلك هي البداية فقط، ومن المعتقد أن المجموعة الشمسية بما فيها الأرض تدور حول مركز مجرتنا بسرعة أكبر من ذلك وهي حوالي ٢٠٠ كيلومتر

في الثانية ، ومن المعروف أن مجرتنا تقترب من مجرة أندروميدا بسرعة ٨٠ كيلومتراً في الثانية، كما أظهرت قياسات إزاحة دوبلر (ولو أننا نستطيع أن نقول بنفس الثقة إن مجرة أندروميدا تتحرك تجاهنا بنفس السرعة)، وحيث إن سرعة الضوء تزيد ألف مرة عن أكبر هذه السرعات؛ فإن الأمر يتطلب مشاهدة أنيزوتروبي أقل من جزء في الألف حتى نتمكن من قياس حركة الأرض، وقبل أن نفسر ذلك دعنا نلقي نظرة خاطفة على تجربة مبكرة معروفة كانت تهدف إلى قياس حركة الأرض .

إذا عدنا إلى الوراء للقرن التاسع عشر، وقبل أن يطرح أينشتاين نظرية النسبية، كان الفيزيائيون يعتقدون أن كل الأوساط المنتشرة تحمل موجات الضوء، وكان العلماء يعرفون أن موجات الصوت تنتقل في الهواء، فقط أو في بعض الأوساط الأخرى، ولكن لا تنتقل في الفراغ، وكانوا يعتقدون أن الضوء، بالمثل لا ينتقل في الجزء الخالي من الفضاء كما في المسافة بين الشمس والأرض الخالية من أي وسط، كان هذا الوسط الغائب يسمى الأثير الناقل للضوء (Lumineferous Aether) ، وليس له علاقة بالمواد الكيميائية التي تحمل اسم الايثيرات، سوى أنه يشترك معها في نفس الاسم، وقد افترض العلماء، بدون أي سند حقيقي أن هذه المادة الغامضة تملأ كل المسافات بين النجوم ، ويمكن للموجات الضوئية أن توجد في الأثير تواجد موجات الصوت في الهواء، أو موجات الماء فوق سطحه .

ومن على الشاطئ تبدو موجة الماء أسرع إذا كانت تتحركُ في اتجاه التيار عن تلك التي تتحرك عكس هذا الاتجاه، وبالمثل تؤثر هبة ريح على السرعة الظاهرية للصوت الذي ينتقل في اتجاه الريح أو عكسه، وبنفس الطريقة ظن الفيزيائيون في سنة ١٨٨٠ أن باستطاعتهم رصد حركة الأرض بسرعة ٣٠ كم / ثانية خلال الأثير، معتقدين أن رياح الأثير قد تكونت نتيجة حركة الأرض خلاله، ولو كانوا يعلمون عن دوران المجرات، وهم لم يعلموا ذلك، لتوقعوا رياحاً أثيرية أكبر كثيراً.

ولاكتشاف رياح الأثير بدا من المنطقي أن يقاس الاختلاف في الزمن بين حركة الضوء، في اتجاه حركة الأرض وفي اتجاه عمودي عليها، ولقياس فرق الزمن قام ألبرت مايكلسون (Albert Michelson) ، أول أمريكي يحصل على جائزة نوبل، بتطوير

عبقرى لجهاز قياس تداخل الضوء (Interferometer) ذى الحساسية الفائقة، ليكتشف رياح الأثير بسرعة ٣٠ كم/ثانية، ولكن لدهشة مايكلسون لم يستطع اكتشاف مثل هذا التأثير، وقد بذل هو وفيزيائيون آخرون أقصى جهدهم لكنهم لم يتمكنوا من التوصل إلى تفسير مقنع لهذه الظاهرة .

لم يتمكن الفيزيائيون من إدراك السبب الذى من أجله لم يتمكن مايكلسون من اكتشاف الأثير إلا بعد أن طرح أينشتاين النظرية النسبية الخاصة سنة ١٩٠٥ ، وقد افترض أينشتاين خاصية جديدة للزمن – هى أنه يعتمد على سرعة المشاهد، والنتيجة المباشرة لهذا الافتراض هو أن سرعة الضوء واحدة بالنسبة لجميع المشاهدين حتى لو كان مصدر الضوء أو المشاهد متحركًا بسرعة عالية ، وحيث إن سرعة الضوء ثابتة فلن يكون هناك رياح أثيرية حتى لو كان الأثير موجوداً، ويفسر هذا الافتراض نتائج مايكلسون، إلا أن الأمر استغرق سنوات كثيرة ليقتنع الفيزيائيون بنظرية أينشتاين، وقد حصل أينشتاين على جائزة نوبل ، ليس لنظرياته النسبية ولكن لنظرياته الأسهل فهماً حول الحركة البراونية والتأثير الكهروضوئى .

وقد أدت النسبية كما رأينا إلى سلسلة طويلة من التتابعات – التى وقفت ضد المفاهيم المقبولة أيامها – مثل استطالة الزمن (تمدد الزمن) وتقلص الأطوال والفكرة الأخاذة عن أن الكتلة ما هى إلا شكل من أشكال الطاقة، والآن وبعد أن اجتازت النسبية الخاصة بنجاح اختبارات لا حصر لها، فإنها تعد حجر الزاوية الصلب فى الفيزياء مثل قوانين نيوتن من قبل .

وبهذه الخلفية من السهل أن ندرك لماذا صك الفيزيائى جيم بيبلز من جامعة برنستون المصطلح "رياح الأثير الجديدة" ((New Aether Drift) ليصف الحركة المتوقعة للأرض بالنسبة للخلفية الإشعاعية الكونية . لكن لماذا نتوقع أن تنجح تجربة رياح الأثير الجديدة بينما فشلت التجربة القديمة ؟ الفرق هو أن الوسط موضع الاكتشاف حاليًا ، وهو الخلفية الإشعاعية الميكروية، لا يحمل ضوءاً لأنه نفسه هو الضوء، ولا تتعارض النسبية الخاصة مع ظاهرة دوبلر للضوء المقاس من مستقبل متحرك بالرغم من أنها تغير حسابات هذه الظاهرة .

وقد تطلبت قياسات رياح الأثير الجديدة أن تحلق الأجهزة خارج الغلاف الجوى بدلاً من تشغيلها على سطح الأرض ، ويرجع السبب إلى أن المشاهدات يجب أن تتم عند أطوال موجات أقصر من تلك التى استخدمت فى معظم تجارب الخلفية الكونية السابقة؛ وذلك لتجنب التداخل مع الإشعاعات الميكروية المنبعثة من مجرتنا، ولكن عند هذه الأطوال الأقصر للموجات، فإن الأكسجين وبخار الماء الموجودين فى الغلاف الجوى يشعان كذلك موجات ميكروية، ويمكن إجراء هذه القياسات فقط على ارتفاع أعلى من ٥٠ ألف قدم حيث يتجمد بخار الماء (ويمكن إجراء هذه التجارب فى القطب الجنوبى؛ حيث يمكن الوصول إلى هذه الدرجة التى تحقق نفس النتيجة)، وقد سجل بول هنرى (Paul Henry) من جامعة برنستون أول النتائج باستخدام جهاز محمول عاليًا فى بالون – انتحاء طفيفًا غير متساوٍ (أنيزوتروبية) فى الخلفية الإشعاعية الكونية، ولكن نتائجه جاءت بتقلبات كبيرة غير مفهومة على الرغم من أنه ثبت عدم وجودها فيما بعد، وفى ذلك الوقت شعر معظم العلماء أنهم لا يمكن أن يثقوا فى نتائج مثل هذه مبنية على بيانات تكاد تكون غير مفهومة، وعدا ذلك فإن الإشعاعات بدت فى منتصف السبعينيات منتظمة فى حدود جزء فى كل ٥٠٠ جزء، ويرجع الفضل فى ذلك إلى القياسات الدقيقة التى أجراها دافيد ويلكنسون (David Wilkinson) وروبرت بارتريدج (Robert Partridge) وإدوارد كونكلن (Edward Conkline) من جامعة ستانفورد.

ولتوضيح هذا الموقف وتطوير القياسات السابقة بدأ ريتشارد مولر مشروعاً فى بيركلى سنة ١٩٧٦ ، وسرعان ما انضم إليه فيزيائى شاب يدعى جورج سموت (George Smoot) وطالب الأبحاث مارك جورنشتاين (Marc Gorentein) ، وفى غضون سنوات قليلة اكتشفوا أول دليل قوى على وجود انتحاء غير متساوٍ (أنيزوتروبية) باستخدام جهاز محمول على متن طائرة تجسس سابقة من طراز U-2 ، وقد ازدادت حساسية الجهاز بتدوير الهوائى ذى البوقين (النفيرين) – أطلق عليه اسم جهاز دايك للقياسات الراديوية (Dicke Radiometer) – مرة كل دقيقة ، وكذلك بتحريك المستقبل إلى الخلف والأمام بين البوقين لرصد الاختلاف فى درجة الحرارة بين الاتجاهات

المختلفة في السماء، وكان هناك جهاز ثان للقياسات الراديوية لرصد أي عدم انتظام ناتج من الإشارات التي يحتمل أن تسبب متاعب من أكسجين الغلاف الجوي.

جاءت تجارب U-2 بنتائج زادت من قناعتنا في بعض الجوانب، وكانت أخاذة وغير متوقعة في جوانب أخرى، وكانت النتائج مشجعة لكونها قد أعطت دليلاً قويا على حركة الأرض بالنسبة للخلفية الإشعاعية الكونية ، ففي إحدى مناطق السماء بدت الموجات الميكروية مزاحة إزاحة زرقاء دالة على الاتجاه الذي تتحرك ناحيته الأرض، وفي الاتجاه المضاد وهو الاتجاه الذي جاءت منه الأرض أثناء حركتها الكلية - أظهرت النتائج إزاحة حمراء كما كان متوقعًا ، وكان مقدار إزاحة الموجات مكافئًا لارتفاع درجة الحرارة بمقدار ١/١٠ من ١ ٪ فقط - لكن ذلك كان كافيًا ليشير إلى أن سرعة الأرض هي الأخرى ١/١٠ من ١ ٪ من سرعة الضوء، وقد أظهرت أفضل حساباتهم أن سرعة الأرض حوالي ٤٠٠ كيلومتر في الثانية .

وعند ٤٠٠ كم / ثانية كانت سرعة الأرض الظاهرية أسرع مما هو متوقع ، واتجاه حركتها مختلف تمامًا عما كان متوقعًا بالنسبة إلى حركة دوران المجرة، وبدت الأرض وكأنها تتحرك تجاه نقطة تقع بزاوية ١٥ درجة شرق الجنوب الشرقي للنجم " قلب الأسد " (Regulus) وقد تحقق فريق بيركلي من أن هذا الاتجاه جد مختلف عن الاتجاه المتوقع من حركة دوران الأرض حول مركز درب اللبانة، حتى إن مجرتنا لابد أن تكون هي نفسها تتحرك وبسرعة أكبر بالنسبة للخلفية الكونية، وباستخدام جبر المتجهات (Vector Algebra) قدروا سرعة المجرة بحوالي ٦٠٠ كيلومتر في الثانية أو أكثر من مليون ميل في الساعة - هذه هي سرعة حركة درب اللبانة خلال إشعاع "الأثير" المتخلف عن الانفجار الرهيب .

وحركة درب اللبانة بالنسبة لأندروميدا والمجرات الإقليمية الأخرى أبطأ كثيراً من ٦٠٠ كيلومتر في الثانية، لذا استنتج الفريق أن هذه المجرات ومعها أكبر تجمع للمجرات في جوارنا - تجمع العذراء - لابد أن تتحرك هي الأخرى ، ويمكن تخيل الوضع كالتالي أننا موجودون في منطقة شاسعة من الفضاء ، تقدر بعشرات الملايين

من السنوات الضوئية ، حيث تتناثر فيها آلاف المجرات تتسابق بسرعات هائلة تقترب من ٦٠٠ كليو متر في الثانية بالنسبة للكون البعيد .

من أين جاءت هذه السرعة الهائلة ؟ قد تكون السرعة الحالية لدرب اللبانة راجعة إلى اضطرابات محلية ، لكن من الصعب تقبل ذلك الاحتمال في وجود الموجات الإشعاعية الميكروية المنتظمة ، وقد وضعت نتائج تجربة U-2 في بيركلي حدا على خاصيتين كبيرتين مهمتين من خواص الكون: الأولى : إذا كان الكون يدور كما يعتقد بعض الفيزيائيين؛ فإن معدل دورانه أقل من ١/ بليون من الثانية من قوس السماء كل قرن. أما الخاصية الثانية فهي : أن تمدد الكون يجب أن يكون منتظمًا بنسبة ١ : ٣٠٠٠ (بصرف النظر عن دوران الأرض، والمجموعة الشمسية ومجرتنا) .

وقد أجرت مجموعة أخرى من برنستون وهم دافيد ويلكنسون وبراين كوري (Brian Corey) تجربة في بالون ووجدت اتجاه غير متساو (أنيزوتروبي) في الخلفية الكونية بمقدار واتجاه يتفق مع نتائج تجربة بيركلي U-2 ، وقد مدت هذه التجارب الناجحة الفيزيائيين الفلكيين بمزيد من الثقة في الأصل الكوني للخلفية الإشعاعية ، وشجعت مقترحات لقياس الإشعاع بدرجة عالية من الدقة من فوق سقف الفضاء، وتزودنا الخلفية الاشعاعية الميكروية بوسيلة لتصور الكون كما كان في مراحله المبكرة جدا من الانفجار الرهيب - وقد تكون هذه هي الوسيلة الوحيدة التي نملكها أبداً .

الفصل التاسع عشر

لقطة من لحظة الخلق

أظهرت تجارب طيران U-2 فى بيركلى أن درجة حرارة الخلفية الإشعاعية المتبقية من الانفجار الرهيب منتظمة فى جميع الاتجاهات لأقل من جزء فى عشرة آلاف (عدا التجمعات ذات الأهمية المحلية)، وقد وضعت درجة الحرارة المنتظمة بهذا الشكل معضلة نظرية عويصة أمام الفلكيين ؛ وهى أن الكون المبكر كان متجانسًا حراريا، ويمكن مشاهدة ذلك بأنفسنا بالنسبة المادة العادية هنا على الأرض ، فحتى عندما تسخن المادة بصورة غير منتظمة، فإنها فى النهاية تتجانس حراريا بعدة طرق مثل التوصيل والحمل الحرارى والإشعاع، لكن هذه العمليات تحتاج إلى بعض الوقت، فالمناطق المختلفة من المادة يجب أن تكون قريبة من بعضها بما فيه الكفاية حتى يتمكن الضوء والموجات الكهرومغناطيسية الأخرى من العبور من جانب إلى آخر، غير أن الكون تبعًا لنظرية الانفجار الرهيب البسيطة يناقض هذه الظروف، حيث إن المناطق التى نراها اليوم بعيدة كل البعد عن بعضها ؛ حتى إن الضوء لا يتمكن من الانتقال من منطقة إلى أخرى فى عمر الكون ، ولم يكن هناك وقت كافٍ ليكتسب الكون الاتزان الحرارى .

وأقصى مسافة يمكن أن يقطعها الضوء من بدء الكون تسمى بمسافة الأفق (Horizon Distance) ولا يمكن للأجزاء من الكون التى تبعد الآن مسافة أكبر من مسافة الأفق أن تتبادل المعلومات مثل الضوء ؛ لأنه لا توجد عملية فيزيائية تحمل طاقة يمكن أن تنتقل أسرع من الضوء، ولا يمكن أن تكون هذه الأجزاء قد اكتسبت نفس درجة الحرارة من بعضها البعض ؛ لأن الحرارة لا يمكن أن تنتقل بينها، ومع أننا من هنا يمكن أن نرى الكثير من هذه المناطق إلا أنها تقع وراء أفق بعضها البعض .

وأجزاء السماء التي تفصلها مسافات أكثر عدة مرات من مسافة الأفق أصبحت على هذا التباعد؛ لأن الفضاء يمكن أن يتمدد أسرع من الضوء وفقًا للنظرية النسبية العامـة ، ومع ذلك فإن هذه المناطق لها نفس درجة الحرارة في النهاية، ولا تعطينا نظرية الانفجار الرهيب البسيطة تفسيراً لانتظام درجة الحرارة هذا .

وبإضافة عبقرية إلى نموذج الانفجار الرهيب تمكنا من الخروج من هذه المعضلة ، لقد أدرك "الان جوث" (Alan Guth) أن التحسينات التي أدخلت على نظرية الجسيمات الأولية كان لها توظيفًا مدهشًا في مسلك الكون المبكر، وطبقًا لهذه النظريات فإن "الفراغ" في الفضاء يمكن أن يمر بتغييرات درامية مشابهة لما يحدث من تغيرات انتقالية عندما ينصهر الجليد.

فإذا كنا نعيش اليوم في فراغ متجمد : فإن الكون المبكر كان ساخنًا "ومنصهراً"، وقد أظهرت حسابات النظرية الجديدة أن كل الجسيمات في هذه المرحلة المبكرة لابد أن تكون عديمة الوزن مثل الفوتونات، وتكتسب كتلة فقط عندما يتجمد الكون ، وقد أطلق اسم الفراغ الكاذب (False Vacuum) على الفراغ المبكر للتأكيد على الاختلاف بينه وبين ما هو موجود الآن .

وقد أدرك جوث أنه أثناء فترة التجمد لابد للفراغ أن يسلك مثل "الضغط السالب"، وهو ما يسبب التمدد السريع جداً للفضاء ، وفي الحقيقة فإن التمدد لابد أن يكون أسرع بكثير من الضوء ، وحيث إن الأجرام الموجودة في الفضاء لا تتحرك ، إنما الفضاء نفسه هو الذي يتمدد فقط ، وقد أطلق "جوث" على هذه الفترة القصيرة "طور التضخم" (Inflationary Phase) ولُقبت النظرية بالكون المتضخم (The Inflationary Universse) ولقد انتهى هذا التضخم في غضون 10^{-32} ثانية بعد الانفجار الرهيب : أي مبكرًا جداً في الواقع .

لقد منح نموذج الكون المتضخم الفيزيائيين الفلكيين طريقًا للخروج من معضلة مسافة الأفق : كان الكون قبل التضخم صغيراً بما فيه الكفاية لدرجة أن كل أجزائه كانت في حدود مسافات الأفق بالنسبة لبعضها البعض ، وكان هناك من الوقت ما يكفي كي تتبادل من الأجزاء الحرارة لتصل إلى نفس الدرجة .

ومع أن احتمال حدوث التضخم ساعد في تفسير انتظام الخلفية الميكروية، لكن ظل الفيزيائيون الفلكيون مصممين على إيجاد دليل على النتوءات الكونية، والسبب في ذلك أن الكون الذي نراه الآن في غاية عدم الانتظام، فمعظم الكتلة الموجودة فيه مركزة في النجوم والمجرات وتجمعات المجرات، ويعتقد معظم الفيزيائيين الفلكيين أن هذا التمركز للكتلة قد نتج عن الجاذبية المتبادلة للمادة المخلقة في أثناء الانفجار الرهيب ، لكنهم كانوا في حاجة إلى دليل على بنية للكون المبكر ؛ سواء كانت تمركزًا أو اختلافًا في درجات الحرارة ، وذلك حتى يمكن تفسير تطور الكون إلى مجرات وتجمعات للمجرات ، فالكون المنتظم دون تمركز لا يعطي تفسيراً لوجود المجرات ؛ غير أن هذا التمركز لابد أنه قد بدأ في مراحل مبكرة جداً للكون، ولابد أن يكون قائمًا عندما بدأت الخلفية الميكروية رحلتها؛ ولذلك فإن الخلفية الإشعاعية التي نشاهدها اليوم لابد أن تكون غير منتظمة .

لماذا بدأ تمركز الكتلة مبكراً بهذا الشكل ؟ والفكرة الأساسية غاية في البساطة ، فبالصدفة المحضة سوف تتجمع بعض الذرات في سحابة غاز في مناطق دقيقة ذات كثافة أعلى سوف تشد هذه المناطق أو "النتوءات" الذرات المجاورة إليها ، لأن جاذبيتها أكبر من جاذبية المناطق المحيطة ذات الكثافة المنخفضة ، وكلما كبرت النتوءات الأصلية ، ازدادت جاذبيتها تجاه المادة المجاورة ، وبالتدريج سوف تنفصل السحابة إلى تجمعات كبرى أو ربما تنهار في تجمع واحد، وتسمى هذه النزعة عدم استقرار الجاذبية (Gravitational Instability) .

وفي علم الكون هناك قوتان تضادان التجمع التجاذبي : الأولى هي تمدد هابل نفسه؛ في البداية كان التمدد من السرعة بحيث يمنع التجمع ويدفع المادة إلى الخارج قبل أن تتمكن الجاذبية من شدها إلى الداخل ، والقوة الأخرى المقاومة للتجمع هي ضغط الإشعاع ، وحتى مضى ما يقرب من نصف مليون سنة على الانفجار الرهيب، كان الإشعاع المنبعث من الشدة بحيث إن محصلة تأثير القوى بين الجسيمات المجاورة كانت التمدد فقط، ومرة أخرى كان مستحيلاً للتجمع أن يحدث ، وعندما حان من تجمد الإلكترونات والبروتونات إلى ذرات انخفض فجأة مستوى ضغط الإشعاع

لأن الإشعاع يتداخل بصورة أقل كثيراً مع الذرات المتعادلة عنه مع الجسيمات المشحونة ، لكن تمدد هابل ظل أكثر من كافٍ ليمنع التجمع الجاذبي .

ويبدو أن تكون المجرات تحت هذه الظروف مستحيل، غير أن المجرات موجودة ، ويعتقد الفيزيائيون الفلكيون أن تقلبات الكثافة لابد أن تكون موجودة في العصر المبكر جداً للكون عندما ظهرت المادة لأول مرة ، ومرة أخرى قد يزودنا النموذج التضخمي بطريقة للخروج من هذا المأزق . وتسمح مختلف صور التضخم التي في مجملها تخمينية - بتكوين تركيبات مستقرة من المحتمل أن تكون ناتجة عن تحلل الجسيمات فائقة الكتلة إلى الجسيمات التي نعرفها الآن، وفي زمن يقارب 10^{-35} ثانية بعد الانفجار الرهيب . ويميل التضخم إلى تعظيم أي عدم انتظام كان موجوداً مسبقاً، وتمكن التجمعات الواقعة في مدى 10^{5} كتلة شمسية (تلك التجمعات التي تزيد مائة ألف مرة عن كتلة شمسنا) وتلك التجمعات التي تزيد على 10^{12} كتلة شمسية من النجاة من الضغط الإشعاعي بسهولة ، (ومن المثير، وربما ليس صدفة أن هذه الكتل تمثل التجمعات الكونية للنجوم التي نشاهدها في مجرتنا بالنسبة للمدى الأول ؛ بينما تمثل المجرات الكبرى والتجمعات المدى الثاني) . فبينما يبطئ التمدد عمليات الزيادة في تقلبات الكثافة . فإنه يميل إلى تثبيت ما هو قائم ؛ أي أنه يقاوم الانهيار الجاذبي التام .

وقد أراد الفيزيائيون الفلكيون بشدة أن يثبتوا وجود ظاهرة التجمع في الكون المبكر حتى يمكن تفسير تكون المجرات ، وعلى الرغم من نجاح نظرية الانفجار الرهيب، فقد لا تصمد إذا لم تكن متفقة مع تكون المجرات . فاكتشاف الاتجاه غير المتساوي (الأنيزوتروبية) في الخلفية الإشعاعية لهو دليل قوي على التجمع المبكر، وعلى ذلك فإن السباق كان ساخناً للبحث عن مثل هذه الأنيزوتروبية .

إنهم كانوا يبحثون عن عدم انتظام مثل هذا في الخلفية الإشعاعية الميكروية (التي هي كونية في أصلها) ، وقد اكتشفت تجربة U-2 أنساقاً من عدم الانتظام في الإشعاع . لكنها كانت محلية المصدر وليست كونية ، وقد تطلب الأمر تجربة أكثر دقة ، وبدا أن وجود قمر صناعي أصبح ضروريا ليحمل الأجهزة فوق الغلاف الجوي ؛

لذلك اقترح "جورج سموت" على "ناسا" مشروعًا يستخدم فيه جهازًا مماثلاً في تصميمه لمشروع U-2، لكنه محمول على قمر صناعي ، وقال "جورج سموت" إن الأمر يستغرق عامين لإكمال الجهاز وشحنه ثم عاماً آخر للحصول على كل النتائج :

وأخيراً ، وبعد ثلاثة عشر عامًا، ارتفع الجهاز في الفضاء كجزء من القمر الصناعي (COBE) "كوب" - "مسبار الخلفية الكونية"، ولم يكن التأجيل الطويل راجعًا إلى مشاكل علمية، ولكنه راجع في معظمه إلى مشاكل بيروقراطية وسياسية وكذلك لسوء الحظ ، وعندما احتاجت "ناسا" مشاريع علمية لتبرير رحلة مكوك الفضاء انتقل المشروع إلى مكوك الفضاء ، لكنه كان أصغر من اللازم بالنسبة للمكوك، ولذا تم ربطه بمشاريع منفصلة سابقة ، والتي كانت تتضمن وجود بشر، لكن في وجود البشر ارتفعت تكاليف تأمين الرحلة إلى أرقام فلكية ، وأخيراً، وبعد انفجار تشالنجر في ١٩٨٦م تحولّ البرنامج إلى قمر صناعي آخر .

وبعد إطلاقه أخيراً من مكوك الفضاء بواسطة "ناسا" في ١٩٨٩، كان القمر الصناعي (COBE) يحمل ثلاثة أجهزة قياس راديوية لقياس انتظام الخلفية الميكروية في الاتجاهات المختلفة عند ثلاثة أطوال موجات مختلفة ، وبالإضافة لذلك كان يحمل "مطيافًا" (الذي كان العالم الرئيسي له "جون ماثر" الطالب السابق في بيركلي) لقياس طيف الجسم الأسود حتى المنطقة تحت الحمراء البعيدة بطول موجة ١ر٠ مم ، ومن المدهش أن المطياف قد سجل طيفًا له الشكل المتوقع تمامًا لجسم أسود مشع بدقة أفضل من ١ بالمائة ، وبالرغم من بعض الالتباس المبكر ؛ فإن التوافق المذهل لنتائج كوب (COBE) مع انبعاث الجسم الأسود كان تأكيداً "رائعًا" لنظرية الانفجار الرهيب .

كان ذلك لغزاً محيراً ومغريًا . فالطيف المكتشف كان لجسم أسود له درجة حرارة ٢٫٧١ درجة فوق الصفر المطلق ، وكان أقرب إلى طيف الجسم الأسود أكثر مما كان متوقعًا ، وهو توافق مثير ومحير لعلماء الكون ويضع حدوداً قوية على طبيعة المادة التي كانت موجودة لحظة تكون المادة، مجرد مرور نصف مليون سنة بعد خلق الكون .

اكتشفت أجهزة القياس الراديوية على (COBE) توزيع شدة الإشعاع الخاصة بحركة مجرة درب اللبانة بالنسبة للخلفية الإشعاعية ، وعلى أساس نتائج الإزاحة

الحمراء للعديد من المجرات – يعتقد بعض الفلكيين الآن أن سرعة حركة مجرة درب اللبانة البالغة ٦٠٠ كيلومتر فى الثانية تأتى من شد جاذبية تجمع فائق عظيم للمجرات يسمى الجاذب الأعظم ، ويمسك هذا التركيز الهائل من المادة ما يقارب عشرة آلاف مثل كتلة مجرة درب اللبانة ، ويوجد على مسافة مائة مليون سنة ضوئية تقريباً ، وخلف هذا الجاذب الأعظم يبدو أن هناك جاذباً أكبر يطلق عليه تركيز شابلى (Shapley Concen-tration) يحتوى على عشرة أمثال كتلة الجاذب الأعظم ، وتشير مثل هذه التركيزات الكبرى من الكتلة إلى أن كثافة الكتلة فى التجمع المحلى العملاق قد تكون عند القيمة "الحرجة" ؛ أى القيمة الدنيا اللازمة ليكون الكون مغلقاً ، وإذا كانت هذه الكثافة هى الكثافة السائدة فى كل الكون، فلابد أن يكون محدوداً ، وله من الكتلة ما يكفى لجعله ينهار أخيراً تحت تأثير جاذبيته الخاصة .

وفى سنة ١٩٩٢ أعلن فريق COBE اكتشاف اختلاف درجة الحرارة فى خريطتهم الميكروية للسماء ، والتى يبدو أنها كونية وليست مجرد محلية ، وفى الحقيقة لقد تمكنوا من التقاط لحظة من تاريخ الكون مباشرة بعد حدوث الانفجار الرهيب، ووجدوا ما أسموه "أعظم وأقدم تركيبات فى الكون ، حفريات عمرها خمسة عشر بليون سنة"، وتبين خريطة COBE الميكروية للسماء (انظر الصور الداخلية) شريط الأفق المظلم مع قرص مجرتنا درب اللبانة، وفوق هذا الشريط وتحته هناك مناطق مظلمة على شكل نقط ونقوش . فإذا كان فريق COBE قد تمكن من استبعاد تأثير الحيود من المادة المحلية ، فإن هذا التركيب يبين تجمع المادة فى الكون المبكر بعد نصف مليون سنة من بدايته (مع أن معظم هذه النقاط هى ضجيج وتقلبات راجعة للأجهزة).

إن ذلك هو أول دليل على أن الكون المبكر لم يكن تام الانتظام فى درجة حرارته، لقد تنفس كثير من علماء الفلك الصعداء عندما أعلن فريق (COBE) اكتشافهم عن اختلافات درجات الحرارة فى الخلفية الميكروية، حيث يعطى ذلك تركيباً للكون المبكر يفسر تطوره إلى مجرات وتجمعات للمجرات .

كان كثير من الفلكيين حتى أواخر السبعينيات يعتقدون أن تجمعات المجرات منتشرة بشكل منتظم إلى حد ما فى الكون ، وبدخول التقنية المؤتمتة لقياس الإزاحات الحمراء لآلاف المجرات مجال الاستخدام – تغيرت هذه الصورة جذريا ، ففى

المساحات الشاسعة من السماء تبدو المجرات وكأنها تتجمع فى تجمعات فائقة لتكون أشرطة وفتائل وعقداً وسلاسل وصفائح، وتكوّن المناطق المظلمة ظاهريا معظم الفضاء، ويبدو أن المجرات تتجمع حول أطراف تركيب عملاق يشبه الفقاعة اتساعه ١٥٠ مليون سنة ضوئية ، ولا يوجد داخل الفقاعة إلا القليل من المجرات غير المنتظمة والقليل من مادة أخرى مرئية ، وعلى النقيض فإن منطقتنا من الفضاء مرصوصة بكثافة وتحتوى على مجرة كل مليون سنة ضوئية تقريباً، وقد سجل كل من "مارجريت جيللر" Margaret Geller و "جون هوتشرا" John Huchra من جامعة هارفارد فى ١٩٨٩م – وجود سطح يحتوى على آلاف المجرات التى تمتد إلى مسافة ٥٠٠ مليون سنة ضوئية، والذى أصبح معروفاً باسم السور العظيم ، وباستخدام أكبر التلسكوبات وأكثر الأجهزة الإلكترونية حساسية يستطيع الفلكيون اليوم أن يقوموا بمسح المجرات التى تبعد بلايين السنوات الضوئية ، وقد اكتشفوا بالفعل مجرات على مسافات تزيد عن خمسة بلايين سنة ضوئية .

وليس واضحاً بعد ما إذا كان الانتظام قائماً فى الكون على هذا المقياس ، وتبين بعض الدراسات فيما يبدو انتظام المسافات بين المجرات فى حدود ٤٠٠ مليون سنة ضوئية، بينما تبين بعض الدراسات الأخرى تجمعات وأوتار وفراغات تمتد حتى بضع مئات الملايين من السنوات الضوئية، ثم لا يوجد تركيب كبير بعد ذلك ، وتساءل هل تمكنت COBE من رؤية أسلاف هذه التركيبات ؟

وبالرغم من أن الخريطة لا توضح مدى الاختلاف فى درجات الحرارة ، فإن هذا الاختلاف المقاس بواسطة COBE يبلغ حوالى ٢٠٠٠٠٠ مرة أصغر من درجة حرارة الإشعاع ٢٫٧ كلفن (حوالى ١٥ ميكروكلفن، أى ١٥ جزء من المليون من الدرجة، وحتى يمكن رسم الخريطة واستيضاح التركيب العتيق الخفى من بياناتهم ؛ فإن فريق COBE بدأوا باستبعاد قيمة ثابتة تقابل ٢٫٧ درجة كلفن ، ثم قاموا باستبعاد النسق الناتج عن حركة مجرتنا فى الفضاء بالنسبة للغلاف الكونى للبلازما الذى يقوم ببث الإشعاع ، وبعد هذا الاستبعاد لم يتبق إلا نسق أرقط (منقط) من التغيرات ؛ بقع ساخنة وأخرى باردة تنحصر بينها زوايا لا تقل عن عشر درجات (أو جزء من ٣٦ جزءاً من مساحة كل خريطة COBE والتى تغطى كل الـ ٣٦٠ درجة من السماء) ، ولا يوجد فى بنية السماء الآن – حتى الجاذب الأعظم أو السور العظيم – ما يقارب هذا الحجم الزاوى ، وحتى

يمكن اكتشاف هذه التركيبات البدائية السالفة ، فإنه على فلكيي الموجات الميكروية أن يحسنوا من حساسية أجهزتهم أكثر حتى من تلك الحساسية المذهلة التي توصل إليها فريق COBE، لتصبح قادرة على رصد الاختلاف في درجة الحرارة على مساحة زاوية تقدر بدرجة واحدة .

لابد لنظريات تكوين المجرات أن تفترض مسبقًا وجود كميات ضخمة من الظلام والمادة غير المرئية حتى يمكن الحصول على الجاذبية القوية اللازمة لتنشيط التجمع ، ويعتقد الفيزيائيون الفلكيون أن معظم مادة الكون لم تكتشف بعد، ومن المعتقد أن النجوم الساطعة والمجرات التي تقطنها ما هي إلا جزء من كل ، وليس معروفًا ما هو شكل المادة الغائبة أو المادة المظلمة ، غير أن تأثيرها من ناحية الجاذبية يماثل أي شكل آخر للكتلة وحتى أقوى منها، وتسبب قوى الجاذبية إزاحة حمراء للأشعة القادمة من التجمعات غير المرئية للمواد الغائبة تبعًا لنظرية النسبية العامة ؛ وبذا فإن التعرجات الأصلية في COBE قد تكون انعكاسًا لنتوءات المادة غير المرئية، وتتفق مقادير تلك النتوءات المتبقية وأشكالها (وبخاصة عدد النتوءات في كل حجم معين) مع توقعات صورة الكون المتضخم في نظرية الانفجار الرهيب ؛ وبذلك فإن تعرجات COBE ترسم خريطة توزيع المادة في الكون المبكر، والآن وبعد بلايين السنوات من التمدد، فإن هذه التعرجات ربما تكون قد أصبحت مناطق شاسعة من الفضاء ذات كثافة من المجرات أعلى قليلًا من المعدل العادي .

وبزيادة البيانات التي نحصل عليها من COBE فإن الخرائط الميكروية للكون لابد أن تتحسن، وتصبح المعالم غير الواضحة أكثر دقة بمجرد الاستبعاد الدقيق لتأثيرات الانبعاث الميكروي الخافت من الأرض والشمس والكواكب ، وسوف تعطينا القياسات في منطقة القطب الجنوبي – حيث تأثير بخار الماء أقل ما يمكن – معلومات إضافية عن النتوءات الصغرى ، وسوف يسمح تطور المستقبلات الميكروية الأكثر حساسية باستخدام القياسات التي تجرى في البالونات ، وفي النهاية ربما يصبح من الممكن إطلاق قمر صناعي COBE أكثر دقة إلى الفضاء، الأمر الذي سيمكننا من الحصول على صور أوضح للكون العتيق، وقد نتمكن من رؤية أسلاف التجمعات الفائقة للمجرات المرئية الآن .

ويتطلب تكوين صورة للكون في الفترة من بداية الانفجار الرهيب وحتى مرور نصف مليون سنة بعد ذلك – تقنية مختلفة تمامًا عن تلك المبنية على الموجات الميكروية، وقبل مضي النصف مليون سنة الأول ، وعندما "تجمدت" البلازما متحولة إلى ذرات هيدروجين وهليوم؛ كان الكون معتمًا تجاه الإشعاع الكهرومغناطيسي بكل أطوال موجاته ، وإذا عدنا إلى الخلف حتى الدقائق الأولى بعد الانفجار الرهيب، فإنه طوال هذا الوقت كان تشتت الأشعة عظيمًا بواسطة الإلكترونات الحرة، لدرجة أن أية معلومات مفيدة لم تكن لتبقى حتى اليوم ، ويعني هذا أننا لا نستطيع استخدام الضوء أو الموجات الميكروية أو أشعة (X) أو حتى أشعة "جاما" لنرى كيف كان الكون عندما كان عمره نصف مليون سنة .

لكن قد تكون هناك طرق أخرى "لرؤية" الكون في تلك الفترة ، وكان لابد من وجود جسيمات النيوترينو ذات التداخل الضعيف والمقدرة العالية على النفاذ في الكون المبكر، وبعد بقاء هذه النيوترينوات وبعد رحلة ١٠ – ١٥ بليون سنة ، فمن المحتمل أن تكون حاملة أسرار الأطوار المبكرة للانفجار الرهيب ، وقد رصدت الأجهزة تحت الأرضية في منجم بجنوب داكوتا بضعة نيوترينوات قادمة من شمسنا (بالرغم من أن العدد المسجل هو نصف المتوقع في نظرية المجموعة الشمسية)، كما سجلت أجهزة أخرى دفقة من النيوترينوات من المستعر الأعظم 1987A ، ولا نملك في الوقت الحالي الوسائل التي تمكننا من اكتشاف أعداد كافية من هذه الجسيمات الشبح (الرسل) لحل شفرة أية رسائل قد تحملها من الانفجار الرهيب .

وتزودنا موجات الجاذبية بوسائل كامنة لنزع حجاب الكون المبكر جدا، وتتطلب النسبية العامة وجود موجات فيحقل الجاذبية تمامًا مثل موجات الضوء الموجودة في المجال الكهرومغناطيسي ، ومن حيث المبدأ، فإننا نستطيع اكتشافها باستخدام كتل ضخمة من الفلزات والكترونيات التوصيل الفائق ، ولابد أن تخلق هذه الموجات في انفجارات المستعرات العظمى ، ويظن علماء الكون أن الانفجار الرهيب قد أعطى أثناء حدوثه طاقة هائلة لهذه الموجات، ربما تكون هي معظم طاقتها.

لكن بالرغم من الجهود الشاقة التى استغرقت ثلاثة عقود من الزمن لم يتمكن الفيزيائيون من اكتشاف أية موجات للجاذبية ، وإذا تمكنا يومًا ما من اكتشاف ما يكفى من هذه الموجات لتتصور المراحل المبكرة جداً من الانفجار الرهيب فقد نستطيع وقتها اقتناص لقطة من لحظة الخلق نفسه .

الفصل العشرون

المادة والمادة المضادة

خلال الدقائق القليلة من الانفجار، تطور كوننا من حالة مبهمة لا تخضع لنظريات الفيزياء الحالية – إلى تركيبة مشابهة لما تشاهده اليوم ، وقد تكونت جسيمات المادة العادية في سلسلة من التحولات الناتجة عن الانخفاض السريع في درجة الحرارة ، وصاحب تكونها إشعاع كهرومغناطيسي عالى الشدة ، ويمكن مقارنة هذه التغيرات "بالتجمد" والتكثيف في المواد العادية ، ولم يكن للعناصر الكيميائية الأثقل أن تتكون كما رأينا فى الفصل ١٢ إلا فى وقت متأخر بعد ذلك بكثير وبعد ميلاد النجوم ، وأينما تتخلق جسيمات المادة ، فإننا نعرف من تجاربنا العملية أن جسيمات لها شحنة معاكسة يطلق عليها الجسيمات المضادة تتخلق كذلك وبنفس الأعداد تماماً ، ولا يبدو أن هذه الجسيمات المضادة – وأى مادة مضادة يحتمل أن تكونت منها– تشكل جزءاً من عالمنا اليومى .

ما هى الجسيمات المضادة بالضبط ؟ وهل هناك فى الحقيقة مادة مضادة ؟ وبالرغم من أن نكهة الخيال العلمى لم تتبدد حتى بعد أن ينفق الراصد مئات الساعات فى متابعة مساراتها ؛ فإن الجسيمات المضادة تنتج بصورة روتينية فى تجارب الفيزياء عالية الطاقة – (تتكون المسارات فى كشافات الجسيمات ، عند مرور هذه الجسيمات المشحونة مؤينة ذرات مادة الكشاف)– وإحدى الجسيمات المضادة الشائعة فى التجارب هى البوزيترون أو الإلكترون الموجب ، وهناك جسيمة مضادة أخرى معروفة باسم البروتون المضاد؛ أى الصورة السالبة للبروتون ، كذلك النيوترونات المضادة شائعة هى الأخرى إلا أنها لا تترك مساراً حيث إنها تفتقد الشحنة، وفى

الحقيقة ، فإن كل الجسيمات المكتشفة فى تجارب المعجلات النووية لها فعليا جسيمات مضادة معروفة جيداً ، ويوحى التماثل بين المادة والمادة المضادة فى العالم المتناهى الدقة بأن الكون المبكر كان نصفه من المادة المضادة ؛ ولهذا الاستنتاج نتائج مهمة كثيرة فى علم الكون ، وإذا وجدت المادة المضادة اليوم – ليس على شكل جسيمات معزولة فقط – فإنها لابد أن تتكون من ذرات مضادة تحتوى على بروتونات مضادة ونيوترونات مضادة فى نواتها محاطة بسحابة من البوزيترونات ، وعن بعد فإن مادة مضادة بهذا الشكل سيكون لها مظهر وسلوك المادة العادية تماماً .

وعموماً فإن للجسيمات المضادة عمراً قصيراً جدا فى وجود المادة العادية ، وتنتهى حياتها القصيرة حتماً بالفناء التام ، وفناء المادة المضادة يصاحبه أقوى انطلاق للطاقة معروف حتى الآن ويزيد مئات المرات عن الطاقة الناتجة من تفاعلات الاندماج فى القنبلة الحرارية النووية ، وهذا راجع إلى انطلاق كل طاقة اينشتاين $E= mc^2$ ؛ بينما ينطلق جزء صغير جداً منها فى حالة التفاعلات النووية المثالية ، فإذا تخيلنا أن رجلاً وزنه ٦٠ كيلوجراماً قام بمصافحة رجل يماثله لكن من مادة مضادة؛ فإن نتيجة الانفجار الناتج تكافئ عدة مئات من القنابل النووية الحرارية التى من الممكن أن تحول أكبر تجمع حضرى إلى حفرة مخروطية مملوءة بالدخان .

ولا يتبقى بعد فناء الجسيم مع جسيمه المضاد إلا الإشعاع – وتحديداً أشعة جاما ، لقد كان فناء الجسيمات المضادة بالتحديد هو الذى أوجد الإشعاع الذى تسيد الكون بعد زمن = ١ ثانية تقريباً ؛ أى بعد بدء الانفجار بثانية واحدة .

كان اكتشاف وتفسير الجسيمات المضادة واحداً من أهم انتصارات الفيزياء الحديثة ، وفى العشرينيات من هذا القرن بينما كان الفيزيائى الإنجليزى اللامع ديراك (P. A. M .Dirac) يبحث عن وصف رياضى للإلكترونات سريعة الحركة ، فإنه تيقن مدى حاجته إلى دمج النظرية النسبية الخاصة مع نظرية الكم للميكانيكا الموجية، وبتناوله للتفاصيل فقد تمكن من تفسير الكثير من خواص الإلكترونات مثل الحركة المغزلية (spin) ، وقد لاحظ أن المعادلات الناتجة تتطلب حلولها وجود جسيمات تشبه الإلكترونات لكن موجبة الشحنة جنباً إلى جنب مع الإلكترونات ، وهى التى أطلق عليها

فيما بعد اسم الجسيمات المضادة ، وفى البداية ، بدت هذه الجسيمات المضادة أكثر غموضاً عن مفهومنا الحالى للمادة المضادة، لأنه كان من المعتقد خطأً أنها تحمل طاقة سالبة .

وحتى ديراك نفسه لم يتقبل النتائج التى تطلبتها معادلاته ، فكان يعتقد أن معادلاته منقوصة ، وقد شعر أنه إذا عدلت معادلاته بصورة صحيحة فإنها قد تتنبأ بالنيوترونات ؛ لأنه لا توجد جسيمات موجبة لها نفس كتلة الإلكترون فى ذلك الوقت ، لكنه اضطر إلى تغيير أفكاره ، ففى سنة ١٩٣٢ ، كان الفيزيائيون فى تلك الأيام يعتمدون على الأشعة الكونية لإثارة التصادمات عالية الطاقة ؛ وبينما كان كارل أندرسون Carl Anderson من معهد كاليفورنيا للتقنية " Caltech" يدرس تداخلات الإشعاعات الكونية فى غرفة الضباب " Cloud Chamber" وجد مسارات تشبه مسارات الإلكترونات إلا أنها انحرفت فى اتجاه معاكس كما تفعل الجسيمات موجبة الشحنة ، لقد كانت هذه المسارات فى الواقع من فعل البوزيترونات ، وفى سنة ١٩٣٧ اكتشف جسيمة أخرى جديدة تزيد كتلتها ٢٠٧ مرة عن كتلة الإلكترون ، وقد اتضح أن لهذه الجسيمة التى أصبحت تعرف باسم الميون (Muon) صورة موجبة الشحنة وأخرى سالبة وكل منهما مضاد للأخر، وفى عام ١٩٤٧ وبينما كان كل من "سيسيل باول Cecil F. Powell" وجوسيبى أوكتشياليني" Guiseppi Occhialini يدرسان الأشعة الكونية – اكتشفا كذلك جسيمة جديدة تزيد كتلتها عن كتلة الإلكترون ٢٧٣ مرة وهى الباى ميزون Pi Meson أو البيون (Pion) ، ومرة أخرى وجدا تماثلاً ، حيث كانت هناك بيونات موجبة وأخرى سالبة مضادة لها نفس الكتلة ، وفور الانتهاء من بناء المعجل القوى لجسيمات فى معمل لورنس فى بيركلى فى الخمسينيات – تمكن " إيميليو سيجر" Emilio Segre و" أوين تشمبرلين" Owen Chamberlin من اكتشاف البروتون المضاد الأثقل كثيراً، وبعد ذلك مباشرة اكتشف زملاؤهم النيوترون المضاد، وعندما دخل مؤلفا هذا الكتاب معمل فيزياء الجسيمات التجريبية فى الستينيات كانت قد عرفت دستة أو أكثر من الجسيمات الجديدة لكل واحد منها جسيمة مضادة .

وفى محاولة لفهم التداخل القوى لبعض هذه الجسيمات غير العادية مثل K ميزونات (K Mesons) و Xi هيبرونات (Xi Hyperons) المعروفة باسم الجسيمات "الغريبة" عند الفيزيائيين – أمضى المؤلفان عدداً لا نهائيا من الساعات محدقين فى المسارات

كنا نرى مسارات الجسيمات المضادة كل يوم فى الصور الملتقطة داخل غرفة فقاعات الهيدروجين الهائلة (Hydrogen Bubble Chamber) ، وكانت الأشعة عالية الطاقة الداخلة إلى الغرفة نفسها تتكون من ميزونات K السالبة (الأجسام المضادة لـ K ميزونات الموجبة) ، وبدخول الغرفة فى شكل قوس ذى انحناءة خفيفة ناتجة عن مجال مغناطيسى قوى ، فإن هذه الميزونات "الغريبة" تصطدم بأنوية الهيدروجين (بروتونات) ، وغالبًا ما ينتج عن ذلك جسيمة متعادلة الشحنة ثقيلة تسمى لامدا هيبرون Lambda (Hyperon) وقد ظهرت جسيمات لامدا بصورة غير مباشرة فى شكل حرف V كبير متجهًا إلى الخلف نحو القمة التى يبدو أن K قد اختفت عندها، أو فى شكل رذاذ من المسارات المشحونة؛ ولأن جسيمات لامدا غير مستقرة فإنها تتحلل فى غضون بضعة سنتيمترات (وفى مدة ١٠-١٠ من الثانية ، أى فى جزء من مائة تريليون جزء من الثانية) إلى بروتون عادى وبيون سالب، وهو الجسيمة المضادة لباى ميزون الموجب .

وبمعونة التحليل التفصيلى الكامل بالكمبيوتر للزوايا وانحناءات المسارات أمكننا استيضاح ما الذى يحدث فى كل صورة بدقة ، وتعتمد هذه التوافقات Fits تماماً على الحسابات النسبية لطاقة وعزم الجسيمات ، وإذا لم تكن النظرية النسبية تتوافق مع تلك الأحداث ، فإن نتائجنا كانت ستبدو نسبيا خاطئة ، وقد أوضحت قياساتنا لعمر هذه الجسيمات بالضبط تمدد الزمن الذى تمارسه الأجسام التى تتحرك بسرعة فائقة ، لقد كان هذا الأمر شائعًا على وجه الخصوص فى الصور التى بها زوج من الحلزونات الرشيقة المنحنية فى اتجاهين متضادين ، وكان ذلك يعنى تكوين زوج إلكترون - بوزيترون من شعاع جاما غير المرئى ؛ أى خلق المادة والمادة المضادة من الطاقة المطلقة حرفيا .

ومن التجارب الكثيرة المتضمنة للجسيمات المضادة نتج أمران منتظمان مذهلان كلاهما له علاقة مدهشة بالكون المبكر ، فعندما خلقت اللبتونات (جسيمات صغيرة الكتلة مثل الإلكترونات والميونات) خلقت أيضًا الليبتونات المضادة مثل البوزيترونات ، وقد أدخل الفيزيائيون مقداراً سمى بعدد ليبتون (L) لتحديد مسار الجسيمات ، L = +1 لكل ليبتون؛ L = -1 لكل ليبتون مضاد، وقد عبروا عن هذا التماثل الظاهرى بين المادة

والمادة المضادة فى شكل قانون الحفاظ على عدد الليبتون ؛ أى أن العدد الكلى فى أى تداخل لا يتغير، وبعبارة أخرى فإن عدد الليبتونات مطروحًا منها عدد الليبتونات المضادة يظل بها ثابتًا .

وتعرف الجسيمات مثل البروتونات والنيترونات بالباريونات baryons (مما يعنى جسيمات ثقيلة) ، وعندما ينتج باريون مضاد له عدد باريون B = -1 مثل البروتون المضاد الذى ينتج فى تجارب الطاقة العالية، فإن باريون جديد (B=+1) مثل البروتون يظهر أيضاً، ويلخص قانون الحفاظ على عدد الباريون هذه المشاهدات حول التماثل ، ولا تعتبر الباريونات أو الباريونات المضادة جسيمات أولية فى الوقت الحالى ؛ حيث إن من المفهوم أنها تتكون من ثلاثة كواركات (Quarks) ، وهى جسيمات لها ثلث أو ثلثا شحنة ، ومع أن الكواركات أساسية فى نظرية الجسيمات الحديثة إلا أنها لم تشاهد قط تنطلق من البروتون .

والآن نرى لماذا يتفهم علماء الكون أن الكون المبكر كان يحتوى على هذا الكم الكبير من المادة المضادة ، وقد جعلت درجات الحرارة المرتفعة والطاقة العالية التى سادت فى الثانية الأولى للانفجار من الممكن أن تتخلق أزواج من جسيمات - جسيمات مضادة من الإشعاع فائق الشدة أو من الصدمات الأخرى عالية الطاقة ، وإذا كانت أعداد الباريون والليبتون قد حفظت تماماً خلال تلك التداخلات، فإن كمية المادة المضادة كانت تضاهى بالضبط كمية المادة، ولكن هذا التطابق التام يخلق تناقضًا مزعجًا مع الواقع " يبدو أن كوننا فى مجمله من المادة ! " .

وأحد طرق حل هذه المعضلة هو افتراض أن المادة قد انفصلت عن المادة المضادة بطريقة أو بأخرى وظلت كذلك ، وربما تكون مجرات كاملة مضادة بنجوم مضادة متكونة من مادة مضادة قد تكونت أثناء التمدد المتأخر للكون ، ولا يختلف بالضرورة مظهر مجرة من المادة المضادة عن مجرة من المادة - فحتى مجرة أندروميدا قد تكون من المادة المضادة ، وقد يكون نصف الكون من المادة المضادة - ترى هل يمكن ذلك ؟.

وأثناء حركة المجرات فى الوسط بين النجوم، فإنها تصطدم أحياناً ببعضها عندما تخترق الواحدة منها الأخرى دون حدوث تصادمات كثيرة بين النجوم ، لكن تختلط

غازاتها وغبارها جيداً، ويؤدى الصدام بين مجرة من المادة المضادة مع مجرة من المادة إلى فناء هائل مما ينتج عنه كميات هائلة من إشعاع الفناء يمكن اكتشافها عند الحد الفاصل بين المجرتين . ولقد سجل الفيزيائيون الفلكيون الكثير من الظواهر الغريبة فى السنوات الأخيرة ليس بينها فناء المادة المضادة ، وربما تتمكن المادة والمادة المضادة من أن تظلا مبتعدتين فى الكون بطريقة أو بأخرى . فقطرة الماء تظل متماسكة فوق سطح ملتهب لفترة غير قصيرة بشكل مذهل حيث تعمل طبقة من البخار كعازل بين نقطة الماء والسطح الملتهب . وفى الستينيات اقترح هانز ألفين - Hannes Alfvén فيزيائى البلازما الحاصل على جائزة نوبل - أن المادة والمادة المضادة قد يحدث بينهما شىء شبيه لما يحدث لنقطة الماء فى المناطق البعيدة من الفضاء، لكن ظلت فكرته تلك تخمينية فى مجملها .

وتحتوى الأشعة الكونية التى تنهال على الأرض والمكونة فى معظمها من بروتونات نشطة (أنوية الهيدروجين) ضمنيًا على كل العناصر الكيميائية الأخرى من الهليوم وحتى اليورانيوم ، وكما رأينا فإن الفيزيائيين الفلكيين يعتقدون أن انفجارات المستعرات العظمى فى المناطق البعيدة من مجرة درب اللبانة تعجل هذه الأنوية ، كما يحدث ذلك أيضا فى المجرات البعيدة ، وفى خلال السبعينيات قام كل من لويس ألفاريز، وأندى بفينيجتون، وتشارلز أورث وجورج سموت من معمل لورنس بيركلى، وفى نفس الوقت بوب جولدن (تلميذ سابق آخر لألفاريز) من مركز جونسون للفضاء فى تكساس - قاموا بأبحاث دؤوبة عن أنوية المادة المضادة فى الأشعة الكونية، وحيث إن اتجاه أنوية المادة المضادة سالبة الشحنة، فإنها لابد أن تنحرف فى المجال المغناطيسى فى اتجاه عكسى مما يجعل لها بصمة مميزة ، كما أنها ستقتفى بشكل أخاذ ، ومع ذلك فلم تكتشف بصورة مؤكدة نواة واحدة للمادة المضادة ضمن آلاف المسارات التى اختبرت للأنوية ، وقد اكتشف بوب جولدن أخيراً البروتونات المضادة ، لكن هذا الاكتشاف يمكن تفسيره بسهولة على أنه راجع إلى التصادم بين الأشعة الكونية والغازات الموجودة بين النجوم .

وقد أظهرت معظم محاولات إيجاد دليل على وجود كميات كبيرة من المادة المضادة فى الكون أنها غير موجودة ؛ أما المحاولات الأخرى فلم تؤد إلى أية نتيجة . والأمر

الواضح من هذا الفشل - وإن كان مخيباً للآمال - هو عدم وجود أية مادة مضادة فى الكون ، ومن الواضح أن الفناء الذى انتهى فى غضون عشر ثوان قد أخلى الكون من الجسيمات المضادة تاركًا جسيمات المادة فقط ، وقد خلف لنا الفشل فى اكتشاف المادة المضادة معضلة أكبر ، ألا وهى كيف يمكن أن يوجد فائض من المادة أكثر من المادة المضادة ؛ إذا كان مبدأ الحفاظ على عدد الباريون والليبتون قائمًا أثناء خلق الكون ؟

الفيزيائى السوفيتى أندريه ساخاروف - الشهير كواحد من أهم العلماء السوفيت المنشقين - كان أيضًا أب القنبلة الهيدروجينية السوفيتية ، وفى عام ١٩٦٧ أشار ساخاروف إلى إنه لكى يتطور الكون مع وجود فائض من الباريونات أكثر من الباريونات المضادة فلابد من الخروج على ثلاثة من قوانين التماثل فى ظروف "عدم الاتزان" ، والتى كانت موجودة عندما هبطت درجة حرارة الكون بصورة فجائية وسريعة، ويؤكد الهبوط الحاد فى درجة الحرارة أن تلك الجسيمات المتكونة أثناء التحلل لا تستطيع أن تتفاعل مع بعضها لتعيد تكوين الجسيمات الأصلية ، وقوانين التماثل الثلاثة التى يعنيها ساخاروف تضم قانون الحفاظ على عدد الباريون وقانونين آخرين يتضمنا الشحنة وتماثل يمين - يسار (الحفاظ على Cp, C [1] ، وهذه القوانين سارية فى كل التداخلات تقريبًا عدا أثناء تحلل الجسيم المسمى KL (الذى هو نفسه جسيمته المضادة) ، وعندما يتم الخروج على القوانين فإن KL يتحلل إلى بوزيترون فى أغلب الأحوال وليس إلى إلكترون ، ولأنه فى عام ١٩٦٧ لم تكن هناك نظرية تفسر هذا الخروج الغريب على القوانين، فإن ساخاروف لم يتمكن من وضع سيناريو كامل لتفوق المادة على المادة المضادة فى الكون المبكر .

وفى خلال عقد من الزمن تمكنت النظريات الموحدة الكبرى Grand Unified Theories (GUT) من حل هذه المعضلة؛ حيث جمعت معًا كلا من القوى الضعيفة

(١) C هى الحفاظ على الشحنة ، وتشير إلى حقيقة أن الشحنة الكهربية لا تفنى ولا تستحدث فى أية عملية معروفة ، P هى الحفاظ على باريتى (Parity) والذى تخضع له بعض تداخلات الجسيمات ، وهو يعنى أن الطبيعة لا تميز بين اليمين واليسار ، وبالرغم من خروج الكثير من تحللات الجسيمات على الحفاظ على P فإن الحفاظ على CP يظل ثابتاً .

والكهرومغناطيسية والقوية . لقد قام عبد السلام وستيفن واينبرج **Steven Weinberg** بتوحيد القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية ، بينما قام شيلدون جلاشو بتوضيح العلاقة بين القوى القوية والكهرومغناطيسية ، وقد تقاسم الثلاثة جائزة نوبل على هذا العمل ، وتتضمن النظريات الموحدة الكبرى جسيمات فائقة الكتلة تسمى X بوزون (X-Bosons) التي وجدت في ظروف درجات الحرارة الفائقة الارتفاع للكون قبل مرور زمن $t = 10^{-35}$ ثانية ، وهذه الجسيمات فائقة الضخامة ليست مادة أو مادة مضادة ، وليست كذلك بيرونات أو ليبتونات، وعندما تتحلل هذه الجسيمات فإنها تخرج على القواعد العادية ، وبذلك يمكن خرق مبدأ الحفاظ على عدد ليبتون وبايرون في وجود طاقة عالية ما فيه الكفاية ، عندما يختفي الحد المميز بين التداخلات القوية والضعيفة .

كيف تم خلق الجسيمات والجسيمات المضادة في الكون في المقام الأول ؟ كانت الظروف في الكون المبكر جداً ! عند زمن سابق على ١٠-٢٢ ثانية مثلاً تختلف اختلافاً جذرياً عن الظروف الآن ، لقد كانت الكثافة العامة للطاقة مهولة. كان الزمكان ينفجر بسرعة وربما كان محدباً بشدة على الرغم من إننا لا نعرف ما إذا كان محدباً على نفسه كما يتطلب وجود الكون المغلق : لنفترض أنه لم تكن هناك جسيمات في البداية بل مجرد فراغ ، وطبقاً لنظرية الجسيمات فإن التقلبات العشوائية تستطيع تخليق أزواج جسيم – جسيم مضاد مباشرة من الفراغ ، وليس هناك خروج على قانون الحفاظ على الطاقة طالما أن فناء هذه الأزواج ممكن قبل أن يتم اكتشافها ، وربما يكون الكون نفسه مجرد تقلبات عشوائية وظاهرة عرضية غير مستقرة ، والتي تبدو فقط مديدة الزمن لنا لأننا لا ندرك مفهوم الزمن بما فيه الكفاية ، وعليه فإننا لا نستطيع حساب معدل خلق جسيم من فراغ ، ولكن طبقاً للنسبية العامة فإن الكتلة و / أو الطاقة تتسبب في تحدب الزمكان ، الذي يحدد مسار الجسيمات النشطة، وربما تكون الطاقة التي على وشك الانبثاق من الفراغ قد سببت تحدب الزمكان والذي قاد خروج الكتلة / الطاقة إلى الوجود في نفس اللحظة ، وبعبارة أخرى فإن الكون قد ولد نفسه في $١٠^{-٤٣}$ ثانية أو أقل .

وعند ما حل زمن $t = ١٠^{-٣٥}$ ثانية أصبح الكون يحتوي على حساء أولي من الليبتونات والكواركات ، لقد كانت الجسيمات والجسيمات المضادة والفوتونات توجد

بأعداد متقاربة مع زيادة طفيفة من المادة على المادة المضادة ، وقد ساد اتزان تقريبي في هذا الحساء مما يعني أن أعداد الجسيمات والجسيمات المضادة التي تتخلق تتساوى مع تلك التي تفنى ، وفي لحظة ما بين $t = ١٠^{-٣٥}$ و $t = ١٠^{-٦}$ ثانية تكثفت أو تجمدت الكواركات و الكواركات المضادة لتتحول إلى نيوكلونات عادية ونيوكلونات مضادة ، وفي زمن $١٠^{-٤}$ ثانية عندما كانت درجة الحرارة حوالي $١٠^{١٢}$ درجة لم تكن الطاقة المتاحة من متوسط الصدمات كافية لإنتاج أزواج النيوكلونات والنيوكلونات المضادة ، وباستمرار عملية الفناء بدون توقف انخفضت بشدة أعداد الجسيمات قوية التداخل إلى أن لم يتبق سوى الفائض الطفيف من المادة على المادة المضادة .

وبحلول زمن $t = ١٠$ ثوان لم تكن هناك طاقة كافية في مجال الإشعاع لتخليق أزواج بوزيترون – الكترون ، فتقريباً فنيت كل البوزيترونات التي كانت موجودة مكونة زوجاً من أشعة جاما لكل فناء وتاركة فقط بقايا صغيرة من الإلكترونات التي لم تفن.

ويتكون كوننا الحالي من هذه "البقايا" من المادة ، ويوجد اليوم حوالي بليونين من الفوتونات لكل نيوكليون ، وهذه الفوتونات الإشعاعية عديمة الشحنة هي في الأساس نتاج الفناء الذي حدث في الكون المبكر ، وربما تكون هذه الفوتونات قد امتصت وانبعثت عدة مرات ؛ وبذا فإن عدم التماثل الأصلي بين المادة والمادة المضادة لابد أن ينحصر في حوالي جزء في البليون ، وعلى هذا فإننا لم نصنع من مادة طبخت في النجوم ، ولكن المكونات التي تشكلت فيها النجوم ما هي إلا جزء غاية في الصغر من النفايا التي تخلفت عن كون كان في وقت ما أثقل بليون مرة منه الآن .

وبعد زمن $t = ١٠$ ثوان، وعندما فنيت تقريباً جميع الجسيمات الثقيلة كانت معظم الطاقة في الكون على شكل إشعاع يحتوي على أعداد متقاربة من الفوتونات والنيوترينوات عديمة الكتلة أيضاً ، وحيث إن النيوترينوات لا تتجاوب إلا مع القوى الضعيفة فإنها لا تتداخل إلا بالكاد مع أي شئ آخر، وإذا كان للنيوترينوات كتلة طفيفة كما يظن بعض الفيزيائيين ، فإنها تكون قد لعبت دوراً رئيسيا في الكون عندما تطور لاحقا، فإذا كان للنيوترينوات كتلة، فإنها ستكون جزءاً كبيراً من كتلة الكون الحالي .

ومع أن الإشعاع كان يتسيد الكون لمدة نصف مليون سنة بعد العشر ثوان الأولى، فإن البقايا الصغيرة نسبيًا من المادة لم تفقد قدرتها على الإثارة ، وحتى زمن = ١٠٠ ثانية تقريبًا فإن أنوية الديوتيريوم (المكون من بروتون ونيوترون) والهليوم (زوج من البروتونات وزوج من النيوترونات) كان من المكن أن تتكون في تفاعلات الاندماج ؛ إلا أنها سرعان ما كانت تتفكك لحظيًا نتيجة التصادم مع الجسيمات السريعة المحيطة بها. وفي الدقائق القليلة التالية أثناء التبريد كان التوازن يتجه نحو الاستقرار، ويمكن أن نصف هذا الانتقال بالاحتراق السريع لأن تفاعلات الاندماج عند الاتزان تولد طاقة ، ويمكن أن نسميها بالتكثيف ؛ حيث إن ٢٥ ٪ من المادة المعروفة في الكون عندئذ كانت متماسكة على شكل هليوم .

وفيما بين ١٠ دقائق ونصف مليون سنة، كان الكون عبارة عن بلازما متمددة من الإلكترونات وأنوية الهيدروجين والهليوم السابحة في الإشعاع (الفوتونات)، ولم يتغير العدد النسبي للفوتونات والأنوية ، لكن الطاقة الكلية للإشعاع تقل كلما حدثت إزاحة حمراء للفوتونات تجاه موجات أطول وأطول. وبنهاية "عصر الإشعاع" هذا كانت كمية الطاقة في الإشعاع وفي المادة متقاربة، وانخفضت درجة الحرارة إلى ٦٠٠٠ درجة ، ويمكن لذرات الهيدروجين أن تتكون الآن من البروتونات والإلكترونات دون أن تعاني من التفكك ثانية نتيجة التصادم ، وباختفاء معظم الجسيمات المشحونة فإن الفوتونات (التي تتداخل بصورة أضعف كثيرًا مع الذرات المتعادلة عنها مع الإلكترونات الحرة) انفصلت تمامًا عن المادة ، وأصبح الكون شفافًا لأول مرة، وهذه الفوتونات هي التي سوف تعاني مزيداً من الإزاحة الحمراء لتصبح الخلفية الإشعاعية الميكروية فيما بعد.

وقد ظل الهليوم الذي تكون في الدقائق الأولى من لحظة الانفجار الرهيب بنفس شكله إلي يومنا هذا ، والذي يمكن أن نجد معظمه داخل النجوم ؛ أما نسبة الـ ٧٥ ٪ من المادة المعروفة - ماعدا رذاذ العناصر الثقيلة - فهي تتكون من الهيدروجين الموجود في النجوم أو في الغاز بين النجوم ، وتعطي نسبة الـ ٢٥ ٪ هليوم درجة حرارة ٣ كلفن تقريبًا للخلفية الإشعاعية الميكروية ثباتًا أساسيًا في اختبار نظرية الانفجار الرهيب.

وتمتد درجة حرارة ٣ كلفن إلى الخلف إلى درجة الحرارة (تعد ببلايين الدرجات) التي عندها تتحول نسبة الـ ٢٥ ٪ من المادة إلى هليوم ، وتشكل الاختبارات المتعددة بجانب التمدد الذي نلاحظه للمجرات والتجانس التقريبي للإشعاع الميكروي كلها حجر الأساس الذي عليه يقوم تقديرنا لإعادة تركيب الكون المبكر من جديد .

الفصل الحادى و العشرون

الأكوان المحدودة واللامحدودة

تعقبنا تمدد الكون من لحظة الانفجار الرهيب وحتى يومنا ، هذا وأوضحنا كيف أن تلك الأحداث قد أدت إلى إمكانية الحياة البشرية ، ولكن ببساطة هل سيستمر التمدد الذى يحدث الآن؟ وهل ستدوم البشرية وتواصل تطورها ؟ وهل هناك نقطة نهاية للكون أم هل سيستمر إلى الأبد ؟ وترتبط هذه الأسئلة ارتباطًا وثيقًا بموضوع آخر مررنا عليه مرور الكرام : هل الكون محدود أم لا محدود ؟ وتتعلق هذه الأسئلة بتحدب الفضاء ، فإذا كان الفراغ محدبًا كما تشترط النسبية العامة فكيف يتحدب ؟ وهل هندسته كما درسنا فى المدرسة الثانوية أم أنها مختلفة جذريا ؟

وبالرغم من أن كل علماء الكون تقريبًا يعملون فى ظل إحدى صور نظرية الانفجار الرهيب ؛ فإنه لا يوجد اتفاق جماعى عند الإجابة عن هذه الأسئلة وعلى كل ، هناك اتفاق حول نقطة: لابد للتمدد أن يتباطأ، فالمواد كلها تنجذب لبعضها بفعل الجاذبية؛ الأمر الذى يؤدى حتمًا إلى تناقص سرعة التمدد ، ويمكن لمحاكاة بسيطة أن توضح هذه النقطة، فإذا قذفت بكرة رأسيًا إلى أعلى فى الهواء ، فإن الجاذبية ستبطىء من سرعتها أثناء الارتفاع إلى أن تتوقف تمامًا فى لحظة معينة ثم تعاود مسرعة إلى الأرض ، وربما سيتباطأ تمدد الكون حتى يصل إلى الصفر ، ثم ينعكس عندئذ حين تبدأ الجاذبية فى شد المجرات إلى الداخل ، هل هذا ما يحدث فى الواقع ؟ وهل من الممكن أن ينهار الكون ؟

وإذا تأملنا لحظة فى هذه المحاكاة، فإنه من الممكن قذف الكرة بسرعة تزيد على ١١كيلومترًا فى الثانية ، وفى هذه الحالة فإن الكرة ستهرب تمامًا من شد الجاذبية

الأرضية - لأنها عندئذ قد تجاوزت سرعتها "سرعة الهروب" من الأرض، أما بالنسبة الكون فإن قدره معلق برقم وحيد هو كثافة كتلته . فإذا كانت هذه الكثافة عالية بما فيه الكفاية فإن الجاذبية ستشده إلى الداخل (أى تجبره على الانهيار) تماماً مثل الكرة التى قذفت إلى أعلى بسرعة أقل من سرعة الهروب لابد أن تعود إلى الأرض ؛ أما إذا كانت كثافة الكون أقل من قيمة حرجة معينة فإنه بذلك سيتمدد إلى الأبد، وفى حالة بين الحالتين . فإن المجرات المتباعدة ستصل إلى سرعة نسبية قيمتها صفر عندما تصبح على بعد مالا نهاية من بعضها، وتستطيع نظريتنا الحديثة عن الجاذبية - أى النسبية العامة - تفسير كل من هذه المواقف ، ويتطلب أحد الاحتمالات المفضلة حالياً - الكون المتضخم - أن تكون الكثافة مساوية تقريباً للقيمة الحرجة .

وفى علم الفلك المرئى مازالت كثافة الكون سؤالاً بدون إجابة ، فكمية المادة فى الأجسام المرئية مثل النجوم والمجرات لا تبدو كافية تقريباً ليصبح الكون مغلقاً - أى لتوقفه عن التمدد اللانهائى ، ولا توجد كتلة كافية لتفسير حركة تجمعات المجرات ؛ مع أنها تسلك وكأن بها كتلة كافية لتمكن الجاذبية من جعلها متماسكة مع بعضها. إلا أن كثافة الكتلة التى نرصدها فى النجوم المرئية تشير إلى شئ آخر، وقد أثار هذ اللغز أبحاثاً موجهة لما يطلق عليه المواد الداكنة فى صورة : إما أجسام غير مرئية مثل النجوم القزمية البنية (Brown Dwarf Stars) والثقوب السوداء(Black holes) أو الجسيمات الأولية غير المعروفة ، ومن الصعب جداً قياس كتلة الجسيمات ذات التداخل الضعيف مثل النيوترينوات ، لكن إذا كان لها كتلة ستكون حوالى ١٠^-٧ من كتلة البروتون ، فإن النيوترينوات التى تحررت فى المراحل المبكرة للانفجار الرهيب ستكون هى المسئولة عن كمية من المادة الداكنة تكفى لعكس التمدد فى نهاية المطاف ، وتشير القياسات حتى يومنا هذا إلى أنه ليس للنيوترينوات ما يكفى من الكتلة .

وتضع النماذج البسيطة فى النظرية النسبية العامة للجاذبية افتراضات مختلفة عن كثافة الكتلة ، وتتطلب هذه النماذج تحديات مختلفة للفضاء ، الأمر الذى يعنى أن لها هندسات بمقاييس كبرى وذات خواص غريبة .

وطبقاً لأحد هذه النماذج المعروف بالنموذج المغلق، فإن الكون حتماً سينهار، ويفترض النموذج المغلق- الذى اقترح فى سنة ١٩٢٢ عندما اكتشف عالم الرياضيات

الروسى ألكسندر فريدمان Alexander Freedmann عدة حلول لمعادلات النسبية العامة مفترضا عدداً محدوداً من المجرات فى حجم محدود من الفضاء، ويبدو ذلك منطقياً ما فيه الكفاية ، لكنه حذر من أنه لا توجد حدود لهذا الحجم المحدود وليس له مركز ، ففى كل اتجاه يبدو الفضاء متماثلاً، وأكثر من ذلك فإننا لا نملك وسيلة بسيطة لتصور هذا الفضاء الذى يتحدب فى ثلاثة أبعاد مكانية ، ولا نستطيع تخيل هذا الفضاء أكثر مما تفعله الكائنات ذات البعدين مثل مخلوقات موجات الماء - ما سبق ذكره فى الفصل ١٦ - عندما تتخيل البعد الثالث العمودى على محيطها، فحتى إذا كان عالم هذه المخلوقات هو سطح كرة كبيرة والذى يمكن تحديد المواقع عليه بواسطة البعدين - خطوط العرض وخطوط الطول - فإنها ربما تعتقد أنها تعيش على كوكب مسطح .

أثارت خواص الفضاء فضول العلماء والكتاب لفترة طويلة، ومنذ أكثر من مائة عام طرح " إدوين أبوت" Edwin Abbot مفهوم المخلوقات ذات البعدين التى تناضل كى تدرك ماهية العالم ذى الأبعاد الثلاثة فى كلاسيكيته فى الخيال العلمى "الأرض المسطحة" (Flatland) والقراء المهتمون بتفاصيل أكثر- بدون رياضيات معقدة - سيستمتعون بقراءة كلاسيكية جورج جامو "واحد ، اثنان ثلاثة ..... مالا نهاية) .

لنفترض أن مخلوقات الموجات المائية تتمكن من مشاهدة بعضها البعض بواسطة الضوء الذى يسير فى أقصر مسار محتمل على سطح كوكبها: أى فى قوس من دائرة كبرى - عالمهم إذا محدود- وقد نشأوا على أن عالمهم مسطح ، ولا يمكنهم فهم كيف يتأتى لعالمهم أن يبدو متماثلاً فى جميع الاتجاهات إلا إذا كانوا فى مركزه ، لكن لا يوجد أحد منهم فى مركز أى شئ ، فعالمهم كما نشاهده من الخارج محدب فى بعد ثالث غير مرئى لهم ، وبالمثل إذا كان كون فريدمان المغلق هو النموذج الصحيح ، فإن عالمنا محدب فى بعد رابع غير مرئى بالنسبة لنا، وهذا البعد المكانى الرابع مفيد رياضياً فى مناقشة النموذج لكن من الصعب أن يتخيله أحد ، كما لا يستطيع أحد أن يقول ما إذا كان موجوداً حقيقة أم لا ، ويدعى القليل من علماء الرياضة مثل "بيل ثرستون" Bill Thurston : أنهم يستطيعون تصور البعد الرابع ، وباعتبار العدد الكبير من النظريات الهامة التى اكتشفها فإن ادعاءه ربما يكون صحيحاً .

كيف لمخلوقات تعيش على سطح محدب أن تكتشف أنه غير مسطح ؟ إحدى هذه الطرق هى رسم دوائر ذات أقطار متزايدة وفوق سطح مستوٍ، فإذا قسم محيط الدائرة على نصف قطرها يعطى 2π = ٦٫٢٨ تقريباً، وتصدق هذه العلاقة على كوكب المخلوقات طالما كانت الدوائر صغيرة، لكن فى حالة الدوائر التى تغطى مساحة كبيرة من سطح الكوكب فإن ناتج قسمة المحيط على نصف القطر سيتناقص بشكل حاد، فإذا تصورنا أحد المخلوقات موجوداً على القطب الشمالى لعالمه بينما رفيقه يتجه نحو الجنوب ممسكاً بشريط لقياس المسافات ، فعندما يصل هذا الرفيق إلى خط الاستواء فإنه قد قطع ربع محيط الكوكب ، فإذا افترضنا أنه يسير حول الكوكب على طول خط الاستواء، فإنه بذلك يكون قد رسم دائرة نصف قطرها يساوى ربع محيط الكوكب ، والنسبة بين المحيط ونصف القطر ستصبح ٤ وليست ٦٫٢٨ . وإذا استمر الرفيق فى السير تجاه القطب الجنوبى ، وكان يسير فى دوائر عند كل خط عرض فإنه سيقيس نسباً (للمحيط إلى نصف القطر) قد تصل إلى صفر، حيث إن المحيط يقترب من الصفر لكن نصف القطر يزداد ليصل إلى ١٢٠٠٠ ميل (المسافة من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى حوالى ١٢٠٠٠ ميل : أى نصف محيط الأرض) .

إن مجموع زوايا المثلث فى هندسة إقليدس المستوية المألوفة تساوى ١٨٠درجة ، لكن على سطح الكرة فإن مجموع زوايا المثلثات الكبيرة يزيد كثيراً عن ١٨٠ درجة ، وربما يصل إلى ٢٧٠ درجة أو أكثر ، فلنأخذ الكرة الأرضية أو كرة السلة كمثال لفهم ذلك ، ارسم مثلثات بين القطب الشمالى وخط الاستواء ثم در ربع دورة حول الكرة وعد ثانية إلى نفس القطب ، إن كل زوايا المثلث ستكون ٩٠ درجة (ويمكن أن نجد مثلثات بزوايا أكبر ، والحد الأقصى لمجموع هذه الزوايا هو ٥٤٠ درجة) إذا فعلت مخلوقات الموجات المائية ذلك ، وكانت على درجة من الذكاء كافية فى الهندسة ، فإنها ستتمكن من حساب تحدب عالمها من هذه القياسات .

ما الذى يحدث لو كان عالم تلك المخلوقات المحدود يتمدد كما يبدو عالمنا ؟ ينتشر سطح كوكب هذه المخلوقات إلى الخارج بمرور الزمن، لكن يصعب على المخلوقات أن تدرك ذلك ؛ لأن التغير فى موضع كل منهم يتم فى البعد الثالث غير المرئى (ولنفترض أنهم لا يتحركون) وهم يعتقدون أن التمدد يعنى الحركة على السطح المألوف لهم،

كما نميل نحن للاعتقاد أن تمدد عالمنا يعنى أن للمجرات سرعة تباعد فعلية عنا ، وفى الواقع وطبقًا للنموذج النسبى فإن تباعد المجرات عن بعضها يرجع كلية إلى تمدد الفضاء بينها، وليس لأى سرعة "تملكها" تلك المجرات (وبالتحديد فإن الإزاحة الحمراء للمجرات ترجع كلية إلى تمدد الفضاء وليس لسرعتها) .

وفى النموذج النسبى المغلق فإن الكون ذا الأبعاد الثلاثة ينتشر " للخارج" فى اتجاه مواقع جديدة فى بعد رابع غير مرئى، ويزداد حجمه بانتظام فى جميع الاتجاهات ، ومن الممكن تماماً أن يزيد الحجم الكلى للفضاء فى هذا الإطار لأنه يتغير الجانبية لا يوجد سبب لثبات الحجم ، ويؤدى تحدب الزمكان إلى التمدد، بينما يتسبب توزيع المادة والطاقة فى تحدب الزمكان بشكل معين .

وكل ذلك يعنى أن للبعد الرابع نصف قطر تحدب معين يمكن مقارنته بنصف قطر الكوكب الكروى لمخلوقات موجات الماء أو نصف قطر الأرض ، وكما رأينا فى الفصل ١٦ فإن نصف القطر هذا هو المسافة بين أى نقطة فى الفضاء ثلاثى الأبعاد "ومركز" الفضاء رباعى الأبعاد، ويمكن الإشارة إلى نصف قطر تحدب هذا فى الكون على أنه نصف قطر عالمنا، وأكثر من ذلك فإن نصف القطر يزيد بمرور الزمن ، فإذا سافرت فى خط مستقيم فى أى اتجاه لمسافة = 2π مضروبة فى نصف القطر - بسرعة لا نهائية - فإنك ستعود إلى نقطة البداية ، لذلك ستكون أبعد النقاط بالنسبة لك وهى النهاية المقابلة للكون "فى كل الاتجاهات" هى 2π مضروبة فى نصف القطر هذا ، ولسوء الحظ فإن هذا الأمر لا يمكن الحصول عليه من نموذج فريدمان لتمدد العالم المغلق ؛ لأن طول الرحلة سيكون دائماً أكبر من سرعة الضوء مضروباً فى عمر الكون .

وأكثر من ذلك فإن المجرات فى نموذج فريدمان لا تتحرك مكانيًا على الإطلاق (بالنسبة لبعضها البعض) بل تدفع إلى الخارج محمولة على نظام محاور مختار خصيصاً لها يتحرك معها ، لكنها تتحرك إلى الأمام فى الزمان ، أى أن العمر يتقدم بها، ولا يتمدد الكون لأن المجرات تتباعد عن بعضها ولكن لأن نصف قطر تحدب الكون يزداد، وما نقوله هو أن الفضاء يتمدد ويزيد التباعد بين المجرات ، وترجع الإزاحة

الحمراء إلى تمدد الفضاء وليس إلى سرعات التباعد الفعلية، والمجرات التى كانت يومًا ما على أقصى بعد عنا فى الكون ستظل دائمًا على أقصى بعد ، ولن نتمكن من رؤيتها أبدا طالما استمر التمدد، ولن نتمكن من مشاهدة النهاية المقابلة للكون المغلق لأن الضوء لا ينتقل بسرعة تكفي لجعل ذلك ممكنا، وبالقطع فنحن لا نعتقد أن تلك المجرات الأبعد عنا قد تباعدت أصلاً عنا؛ لأنها كان لابد وأن تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء لتصل إلى مكانها الآن .

ما هو قدر الكون فى هذه الصورة ؟ سيتباطأ التمدد تدريجيًا على مدى بلايين السنين ، لكن فى وقت ما فى المستقبل وليكن ٥٠أو ١٠٠ بليون سنة من الآن ستنعكس حركة الكون كلية ، وسينعكس سيناريو الانفجار الرهيب ليصبح الانهيار الرهيب. ستكون هناك مجرات ونجوم ساطعة حيث إنه ستتكون مجرات جديدة من الغازات المنتشرة بين المجرات بسبب شد الجاذبية ، ولكن سيكون هناك عدد أكبر بكثير من النجوم المحترقة والميتة عما هو موجود الآن ، وإذا بقى الفلكيون على قيد الحياة فى أى مكان (لن يكون أحد منهم على الأرض على الأرجح لأن الحياة على كوكبنا ستختفى تمامًا عندما تصبح الشمس نجماً عملاقًا أحمر)، فإنهم سيشاهدون إزاحة زرقاء ناتجة عن انكماش الفضاء بين المجرات الموجودة ، وقد يتمكنون فى النهاية من مشاهدة تلك المجرات الأقصى بعداً لأنه سيكون قد مضى وقت كافٍ للضوء القادم من هذه المجرات ليصل إليهم .

وبانكماش الكون تتحول طاقة الوضع الخاصة بالجاذبية إلى طاقة حركة والتى ستتحول فى النهاية إلى حرارة نتيجة التصادمات العديدة ، ستتضغط كل المادة : أما الخلفية الإشعاعية الميكروية التى بردت حتى درجة واحدة كلفن سابقًا ستصل فى النهاية إلى ٦٠٠٠ درجة ، ولن يبقى من عمر الكون إلا أقل من مليون سنة ؛ ولأن طاقة الكون الكلية ستظل ثابتة أثناء التصادمات، فإن عمليات تجمد وتكثيف المادة النووية ستنعكس إلى فترات من الانصهار والبخر بشكل كارثى الآن ، حيث سيدخل الكون بداية فى مرحلة العتامة وسيادة الإشعاع ، وقبل الانهيار النهائى ببضع دقائق سيصبح الكون ثانية حساءً نوويا ساخنًا بشكل غير معقول ، وستتفتت جميع الأنوية الأكبر من بروتون واحد .

وأخيراً سيحدث شئ درامى للغاية قبل لحظة النهاية بعشر ثوان، حيث ستصبح كثافة طاقة الكون كبيرة بما فيه الكفاية لتتخلق أزواج الإلكترون - بوزيترون فى كل مكان ، وفى زمن $t = ١٠^{-٤}$ ثانية قبل لحظة الانهيار ستظهر ثانية أزواج نيوكلون - نيوكلون مضاد بأعداد طاغية ، وبعد قليل ستحل الكواركات محل الباريونات والميزونات وعند زمن $t = ١٠^{-٣٥}$ ثانية قبل لحظة النهاية سيخلق حساء الكوراك - ليبتون الأولى .

ونحن لا نعرف ما إذا كان عدم التماثل بين المادة والمادة المضادة الأصلى سيعود كذلك أم لا، ولا نعرف حتى ما الذى سيحدث بعد ذلك ، وهل سنعود إلى العصر الوجيز لبوزون - (التى اقترحتها النظرية الموحدة العظمى ؟ وهل ببساطة سيختفى الكون عندئذ ؟

وتقول إحدى التخمينات الشائعة حول الكون المغلق أنه سيرتد وينفجر مرة أخرى فى انفجار رهيب جديد ، وسيكون قدر الكون فى هذه الحالة حلقيًا بلا بداية ولا نهاية، لكن لا يوجد فى قوانين الفيزياء ما يشير إلى أن هذا الكون المتفجر سيرتد وأن صوراً بسيطة من هذا الكون المرتد ستخالف معادلات النسبية العامة. وتتجنب معظم التخمينات حول الكون الحلقى اعتبارات الفيزياء كلية، وتؤكد على التشابه بينها وبين الأفكار الهندوكية والأفكار الكونية العتيقة الأخرى ، ويعرض "جوزيف سيلك" Joseph Silk الفلكى من جامعة كاليفورنيا فى كتابه "الانفجار الرهيب" بعض الارتباكات المثيرة للنماذج الحلقية للكون ، حيث سينتج عن كل تمدد ثم انكماش يتبعه إشعاع فى صورة ضوء النجوم وموجات الراديو وأشعة سينية ، وفى أثناء الانهيار سيؤول هذا الإشعاع فى النهاية إلى إشعاع الجسم الأسود، وإذا لم يصل الانهيار إلى النقطة التى عندها تتحول معظم طاقة الإشعاع إلى أزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة فإن الإشعاع سيتراكم ، وحيث إننا لا نشاهد اليوم إلا كمية معينة من الإشعاع ، فإن ذلك يضع حداً لعدد مرات ارتداد الكون التى حدثت فى الماضى ، وهى حوالى ١٠٠ ارتداد تقريبًا ، وإذا وجد مثل هذا الحد فإنه يقلل من بهجة نموذج الكون المرتد المغلق ، ولا نعرف بالضبط الآلية التى يمكن أن تؤدى إلى الارتداد فى نهاية عصر الإشعاع أو بعده .

وماذا لو استمر الانهيار الرهيب (Big Crunch) حتى النقطة الوحيدة التي عندها تصل كثافة طاقة الكون إلى مالا نهاية ؟ ولا يمكن الاعتماد على النسبية العامة للتنبؤ بالذي يحدث عندئذ ، حيث إن معادلاتها ستنفجر (Blow up) وتصبح غير مجدية، لكن الزمن القصير جداً المستغرق يشير إلى أن الظواهر الكمية ستصبح هامة، وعلى كل فليست النسبية العامة نظرية كمية . ولا يوجد أي نظرية كمية أخرى ناجحة للجاذبية ، وإذا انزلقنا إلى تخمينات غريبة ، فإننا قد نقول أن نقطة الانهيار التام هي تلك التي ينتهي عندها ببساطة المكان والزمان ، وفي تلك اللحظة فإن الكون يكون قد أتم حلقة كاملة من لا شيء إلى لا شيء .

وإحدى المعضلات الملحة في نموذج الكون المغلق هي صعوبة تفسير كمية الديوتيريوم الموجودة الآن ، فقد تم تكوين بعض الديوتيريوم أثناء الانفجار النووي الحراري الذي حدث عند زمن 100 = t ثانية ، كما أشرنا من قبل ، ومع ذلك فإن نموذج الكون المغلق يتطلب كثافة عالية من المادة في ذلك الوقت لدرجة أن الديوتيريوم ببساطة كان سيحترق (مكوناً الهليوم)، ولن يتبقى شيء منه ، وبالرغم من وجود بعض الطرق المعقدة للهروب من هذه المعضلة في الكون المغلق ، فإنها من روعة هذا النموذج .

ومن الطريف أن الكون المغلق هو فنياً ثقب أسود، وقد شوهت كتلة الزمكان لدرجة أنه قد انطوى ثانية على نفسه مستبعداً إمكانية هروب الضوء أو أي شيء آخر، ومن الطبيعي أن يكون الحديث عن "خارج" الكون بلا معنى، كما قال يوماً ما جيرترود شتاين من أوكلاند بكاليفورنيا، لا يوجد "هناك ما يسمى هناك" There is no there there.

ماذا عن نماذج الكون المفتوح ؟ لابد أن يكون الكون المفتوح غير قابل للارتداد ولا نهائياً ويتمدد إلى الأبد، وهندسة الفضاء للنموذج المفتوح، والتي أكدت أيضاً بواسطة فريدمان أبعد من مقدرة البشر على تصورها، وإذا كانت محاكاة البعدين في النموذج المغلق هي الكرة فإن نسخة البعدين للنموذج المفتوح لها شكل السرج ، والدوائر المرسومة على السرج نسبة محيط: نصف القطر أكبر من ٢ (وليس أقل كما هو الحال على سطح الكرة ، والأغرب من ذلك أن مجموع زوايا المثلث على سطح

السرج أقل من ١٨٠ درجة، وكما يقول علماء الرياضة فإن تحدب نموذج الكون المغلق موجب بينما في النموذج المفتوح سالب .

وليس من المستحب أن نعتمد على سطح ذي حواف لنتصور سطحاً بلا حواف مثل الكون المفتوح ، وقد نتخيل أن السرج يمتد إلى ما لا نهاية ، لكن السرج مجرد محاكاة ، ولا نستطيع أن نقول بأن الكون المفتوح يشبه السرج ، كما لا يستطيع أحد أن يقول إن الكون المغلق يشبه الكرة ، وعلى الرغم من غرابة شكل السرج ، فإن هندسة الزمكان في الكون المفتوح أقل تعقيداً عنها في الكون المغلق ، وكثافة الكتلة في الكون المفتوح أقل كثيراً لدرجة أن الزمكان لا يتحدب بشدة كما في الكون المغلق ، لكن عدد المجرات في الكون المفتوح والكتلة الكلية غير محدودين ، وتنخفض كثافة الكتلة بتمدد الكون المفتوح إلى أن يصبح تحدب الفضاء مهملاً ، وعندئذ تخضع الفيزياء لقواعد النسبية الخاصة لأينشتاين أكثر من خضوعها للنسبية العامة .

ومستقبل الكون المفتوح بارد، وحيث إن التمدد بلا نهاية فستفقد كل النجوم في النهاية الوقود النووي وتموت ، وبالرغم من أن بعضها سيموت منفجراً ويدفع بمادتها إلى الفضاء بين النجوم فإن كثافة الغاز والغبار الناتج ستنخفض إلى النقطة التي عندها لا يمكن أن تتكون نجوم أو مجرات جديدة بفعل شد الجاذبية ، وسيطغى الظلام في الكون لغياب النجوم الشابة ، وستبرد المادة لتصل إلى الصفر المطلق ، وستتكون ثقوب سوداء هائلة بسبب انهيار المجرات (يعتقد الكثيرون من الفيزيائيين الفلكيين أن الثقوب السوداء العملاقة موجودة فعلاً في قلب المجرات)، فإذا كان البروتون غير مستقر كما تتطلب النظرية الموحدة الكبرى للجسيمات وعمره ٣٢١٠ سنة تقريباً ، فإن كل المادة ستتحلل ، ولكن هل حتماً سيصل الكون المفتوح إلى الظروف التي لا يحدث عندها أي شئ سوى التمدد اللانهائي ؟ ربما لا يحدث ذلك ، وقد أوضح "فريمان دايسون" Freeman Dyson أن الحياة يمكن أن تتطور أسرع من التمدد، بحيث إنه بينما يبرد الكون فإن المخلوقات المتطورة قد تتوصل إلى معرفة جديدة (بما في ذلك كيفية التصرف بدون ضوء الشمس) وتستمر في التمتع بالحياة ، وبذلك فإن مستقبلنا قد يكون مشرقاً حتى بدون ضوء الشمس .

وأخيراً، وفى نموذج ثالث، فإن الكون قد يكون على الحد الفاصل بين المغلق والمفتوح. وفى هذا النموذج يكون تحدب الفضاء الكونى على المستوى الأكبر مساوياً الصفر، [1] وهندسة الفضاء ستكون إقليدية كما تعلمنا بالضبط فى المدارس. والنسبة بين محيط الدائرة ونصف قطرها هى ٢ π، ومجموع زوايا المثلث ١٨٠ درجة وهكذا. وحتى نتصور هذا النموذج سنعود إلى محاكاة البعدين، ولكن هذه المرة فى مستوى غير مقيد. وستشبه النهاية الحتمية للكون المنبسط كثيراً نهاية الكون المفتوح: بحر بارد من الإشعاع فى درجة الصفر المطلق، والذى بالكاد يتوقف عن التمدد بعد زمن لا نهائى.

وبعيداً عن معتقداتنا المفضلة التى تسمح لنا بالمخاطرة بتوجيه أحكامنا العلمية وجهات خاصة، فما الذى نملكه من أدوات لنقرر أىّ هذه النماذج هو الأدق؟ إحدى هذه الأدوات القوية هى رسم قانون هابل الذى يسمى شكل هابل. وقد رسم هابل الإزاحة الحمراء (المكافئة للتباعد) للمجرات كدالة من مسافاتها. فإذا كان الكون يتمدد بمعدل ثابت، فإن المجرات تقع على خط مستقيم فى هذا الرسم.

ولكن الكون لا يتمدد بمعدل ثابت فى أىّ من هذه النماذج، الأمر الذى يرجع إلى تناقص التسارع الناتج عن الجاذبية، لكن النماذج المختلفة تنبىء بعلاقة مختلفة قليلاً. وتنبىء كل النماذج بعلاقة خطية تقريباً عند الإزاحة الحمراء الصغيرة - حيث توجد معظم البيانات - ولكن تتفاوت التنبؤات عند الازاحات الحمراء العالية حيث توجد صعوبات معقدة. والنتيجة الجوهرية هى أنه على الرغم من الجهود التى بذلت على مدى عدة عقود، فإن بيانات الإزاحة الحمراء للمجرات مازالت غامضة ومازالت النماذج الثلاثة ممكنة.

ولا يمكن أن تكون الكثافة الفعلية للكتلة من الكبر مثل عشرة أمثال الكثافة الحرجة المطلوبة لغلق الكون. فإذا كان هذا صحيحاً فإن التمدد سيتباطأ بمعدل أسرع من المعدل الذى نشاهده. والكثافة الناتجة عن مجموع المادة الساطعة فى النجوم

(١) ملحوظة: الفضاء ما زال محدباً فى المناطق المحلية القريبة من الكتلة، فحتى إذا كان التحدب الكونى مساوياً للصفر، فإن تحدب الزمكان بالقرب من الشمس ما زال مسئولاً عن مدار الأرض.

والمجرات والغاز الذى نكتشفه بحسابات الجاذبية تصل فقط إلى عشر الكثافة الحرجة تقريباً، وبذا فنحن نعرف أن الكثافة الفعلية تتغير فى حدود مائة مثل (من ١/١٠ إلى ١٠).

يؤدى الفرض التضخمى للنظريات الكبرى الموحدة للمادة إلى تفضيل محدد جداً لنموذج الحد الفاصل بين الكون المغلق والمفتوح. وبعد فترة التضخم التى ينتهى فيها التمدد السريع جداً، والذى يصاحبه انطلاق كميات مهولة من الطاقة على شكل جسيمات لها كتلة، فإن التداخل النووى المفهوم بشكل أو بآخر سيسود الكون. وقد أظهرت الحسابات أن الكتلة المنطلقة فى نهاية فترة التضخم تساوى بالضبط الكتلة اللازمة لغلق الكون. وعلى ذلك فإن النموذج التضخمى يتطلب أن يتردد الكون على الحد الذى يفصل بالكاد بين المغلق والمفتوح. وبالنسبة لكثافة الكتلة تلك فإن الزمكان مسطح.

ويبدو لنا التضخم جزءاً ضرورياً من صورة الانفجار الرهيب، لكن من الخطورة أن نتقبل النموذج الكونى الذى يفضله التضخم على أسس نظرية بحتة. وتعد التطورات الجديدة المثيرة فى مجال أبحاث المستعرات العظمى بفك الاشتباك الواضح والمتميز بين النماذج الثلاثة. وهناك شىء مشترك بين كل نماذج الانفجار الرهيب: ففى كل منها الكون موجود فى كل مكان ودائماً كان كذلك. وفى كل منها لا يوجد مكان خاص للخلق، بل حدث الخلق فى كل مكان. وعندما ننظر إلى الخارج فإننا ننظر إلى الماضى فى جزء صغير من كل الكون. وكلما تقدم العمر بالكون نستطيع أن نرى أكثر وأكثر منه حيث تتخطى المجرات الأفق بسرعة الضوء (والأفق هو المسافة التى قطعها الضوء منذ لحظة بدء الكون). فإذا كان الكون غير محدود فإننا لن نتمكن إلا من رؤية جزء ضئيل منه، وعلى كل حال فإننا لن نستطيع أبداً رؤية لحظة الخلق نفسها.

عندما بدأ الزمن وانفجر الكون

انبثق من لا شىء ملىء بالنيران والضوء

فى كل مكان دافق بوحشية ووضاء.

الفصل الثاني و العشرون

الشموع الكونية

لابد لأية نظرية تزعم أن للكون بداية أن تكون قادرة على أن تنسب عمراً له يتوافق مع كل البيانات الفلكية ، وبالقطع فإن الزمن الذى انقضى منذ الانفجار الرهيب لا يمكن أن يكون أقل من العمر المعروف لأى شيء فى الكون (ربما باستثناء الفوتونات التى تخلفت من ارتدادات الكون الحلقى) ، وبالرغم من أن قياس العمر بدقة هو أمر غاية فى الصعوبة ، فإن علماء الكون قد توصلوا إلى اتفاق مدهش عن أن عمر الكون يتراوح بين ٨ و١٧ بليون سنة ، ولكنهم مازالوا يتجادلون حول العمر الدقيق كما يفعلون منذ أيام إدوين هابل .

وتعتمد طرق تحديد عمر الكون أساساً على قياس المسافات إلى المجرات البعيدة ، ويقيس العلماء هذه المسافات بطريقة غير مباشرة ، وذلك بمقارنة سطوع المجرات بسطوع أجرام يعتقد العلماء أنهم يعرفون سطوعها الذاتى ، ويطلق الفلكيون على هذه الأجرام اسم "الشموع"، وبجانب المسافة فإن معدل تباعد المجرات عنا عامل هام فى تحديد عمر الكون ، وكما رأينا فإن سرعة تباعد أى مجرة عنا تتناسب مع بعدها عنا طبقًا لقانون هابل ، وبقسمة سرعة تباعد المجرة على المسافة بينها وبيننا نحصل على معدل تمدد الكون ، وبذا فإنه كلما زادت سرعة تباعد المجرات على مسافة معينة كلما ازداد معدل تمدد الكون ، ويعنى معدل التمدد العالى أن الكون مازال شاباً نسبياً، لأن الزمن اللازم للمجرات البعيدة حتى تصل إلى مسافتها الحالية البعيدة عنا صغير، وفى المقابل فإن معدل التمدد المنخفض يعنى أن الكون أكبر عمراً .

ويعرف معدل تمدد الكون تقنيًا باسم " ثابت هابل " (Hubble's Constant) وقد
سمى ثابتًا لأن له نفس القيمة فى كل مناطق الفضاء ؛ أى أنه ثابت بالنسبة للموقع ،
تتراوح القيمة التى وضعها الفلكيون لهذا الثابت بين ٥٠ و ١٠٠ كيلومترًا فى الثانية
لكل ميجا بارسيك Megaparsec (الميجا بارسيك هى المسافة التى يقطعها الضوء فى
٣,٢٦ مليون سنة) ، وحيث إن معدل تمدد الكون يتباطأ فإن ثابت هابل يتناقص
بمرور الزمن ، وبذلك فإن حسابات عمر الكون تعتمد كذلك على النموذج الكونى
المختار ، ويعتمد رقم ١٢ بليون سنة لعمر الكون على بحوث تلميذ هابل الآن سانديدج
(Alan Sandage) الذى يستخدم نموذج الانفجار الرهيب التضخمى الواسع الانتشار
هو ومعاونوه، والذى جادل لسنوات من أجل اعتماد معدل تمدد منخفض نسبيًا فى
حدود ٥٠ كيلومترًا فى الثانية لكل ميجا بارسيك ، لكن بعض الفلكيين الموثوق بهم
دخلوا فى تحد مع ساندیدج بأدلة على معدل تمدد يصل إلى ضعف قيمة ساندیدج
تقريبًا ، وتميل هذه المعدلات العالية إلى إحباط علماء الكون لأنها تعنى أن الكون أصغر
عمرًا من بعض النجوم (وعلى كلٍ فعمر هذه النجوم نفسها غير دقيق، حيث إن تحديده
مبنى على نماذج معقدة للنجوم لا تستطيع فيما يبدو التنبؤ بالأعداد الدقيقة
للنيوترينوات المنبعثة بواسطة الشمس)، ولتعقيد الوضع أكثر فإن الفلكيين قد
استحدثوا العديد من النماذج الأخرى لتحديد عمر الكون - نماذج عبقرية وإن كانت
غريبة - وقد أعطت قيمًا تتراوح فى المدى المقبول .

ويقوم العلماء بقياس الإزاحة الحمراء لخطوط الطيف فى المجرات البعيدة وهو أمر
مباشر ، وكذلك يقومون بقياس المسافة بيننا وبين هذه المجرات وهى مهمة أكثر
صعوبة وذلك لتحديد ثابت هابل بالضبط ومنه تحديد عمر الكون ، ولا يمكن قياس مثل
هذه المسافات مباشرة ، ومن أجل ذلك يراقب الفلكيون النجوم السيفيدية المتغيرة ،
وهى نفس "الشموع القياسية" التى استخدمها هابل ليشتق قانونه فى أول الأمر، وتدل
فترة التردد (التذبذب) على سطوع النجم وفقًا للعلاقة بين فترة التردد والسطوع لنجوم
السيفيد ، ويحدد سطوعه الظاهر مسافته ، وقد قفزت طرق قياس نجوم السيفيد قفزة
عملاقة للأمام فى سنة ١٩٩٣ عندما قام رجال الفضاء بتثبيت بصريات معدلة فى
تلسكوب هابل الفضائى ، وقد استخدمت ويندى فريدمان تلسكوب هابل لقياس

منحنيات الضوء لعشرين نجمًا سيفيديًا فى M100 ، وهى مجرة حلزونية أساسية فى
تجمع فيرجو (Virgo) بدقة، وقد وجدت هى ومعاونوها من معمل كارنيجى فى باسادينا
بكاليفورنيا أن المسافة إلى M100) ، هى ١٧ ميجا بارسيك أى حوالى ٥٠ مليون سنة
ضوئية .

وعندما ما حسبت ويندى فريدمان وزملاؤها ثابت هابل ، وجدوا أن قيمته تتطلب
أن يكون عمر الكون فقط ٨ بلايين سنة (مستخدمين النموذج التضخمى)، ويتعارض
هذا مع رقم ١٣-١٧ بليون سنة ، والمقبول عمومًا كعمر للنجوم القديمة فى التجمعات
الكونية فى مجرتنا (يقول بعض النظريين أن التجمعات الكونية للنجوم قد تكون فى
عمر ١١ بليون سنة ، مما يضيف تعارضًا مزعجًا آخر)، ويعنى ذلك أنه إما أن فريدمان
قد ارتكبت خطأ ، أو أن قيم أعمار التجمعات الكونية بعيدة عن الحقيقة ، أو أن هناك
خطأ يشوب علم الكون الخاص بالانفجار الرهيب التضخمى، فهل من الممكن أن تكون
نظرية الانفجار الرهيب نفسها معرضة للخطر ؟

وقد قام مايكل بيرس Michael Pierce ورفاقه من جامعة إنديانا بقياس السيفيدات
الموجودة فى تجمع فيرجو آخر للمجرات بدقة تنافس تلسكوب هابل ، وذلك باستخدام
بصريات معدلة لاستبعاد التأثيرات الدوامية للغلاف الجوى ، ولقد اتفقت نتائج بيرس
مع نتائج فريدمان ، ويستخدم التلسكوب المزود بالبصريات المعدلة الالكترونيات لقياس
التأثير الدوامى ثم يقوم بتصحيحه فى زمن مناسب جدًا ، وذلك بالحركة السريعة
لعناصر النظام البصرى (عمل ريتشارد مولر على نظام مماثل فى سنة ١٩٧٠) .

ومن بين الوسائل الكثيرة التى اخترعها الفلكيون لقياس ثابت هابل ما يعتمد
بعضها فى معايرته على نجوم السفيدات المتغيرة بينما لا يعتمد البعض الآخر عليها،
وتستخدم مجموعة من هذه الطرق المستعرات العظمى كأجرام ساطعة من المفترض أن
شدة سطوعها معلومة ، وذلك لقياس مسافات المجرات، وحيث إن المستعرات العظمى
من النوع الثانى تنشر النجوم الثقيلة بكتل شديدة التفاوت فإنها تتوهج فى مدى عريض
من السطوع الذاتى ؛ ولذلك فإنها ليست "شموعًا قياسية" جيدة لقياس المسافات ، ولكن
استطاع كل من براين شميت Brian Sehmidt وروبرت كيرشنر Robert Kirshuer

ورونالد ايستمان Ronald Eastman من جامعة هارفارد أن يجدوا طريقة لاستنتاج شدة السطوع الذاتي للنوع الثاني من المستعرات العظمى وذلك من طيفها الضوئي ، وقد توصلوا إلى قيمة لثابت هابل تقل قليلاً عن قيمة فريدمان بناء على دراسة ثمانية عشر مستعراً أعظم .

واستمر سانديج فى إصراره على قيمة أقل لثابت هابل ، وقد أجرى بعض القياسات الحديثة التى عززت رأيه، وقد قام بمعايرة زوج من المستعرات العظمى الهامة من النوع الأول التى سبق تسجيلها فى سنة ١٩٣٧ وسنة ١٩٧٢ مقابل سيفيدات فى مجراتها وتعطى مستعرات النوع الأول "شموعاً قياسية" أفضل من النوع الثانى، على الرغم من أن هناك بعض التساؤلات حول "الشموع القياسية" من النوع الأول من المستعرات العظمى وما إذا كان من الممكن تصحيح سطوعها بدرجة يعتمد عليها، وتتطلب قياسات سانديج التى أجريت بواسطة تلسكوب هابل الفضائى قبل تثبيت البصريات المعدلة براعة هائلة ، وقد تمكن الفلكيون كريشر وآدم ريس Adam Riess وليم بريس William Press من جانبهم من التوصل إلى طريقة لتصحيح شدة السطوع الذاتى لثلاثة عشر مستعراً أعظم ومعروفاً ، وذلك من منحنيات الضوء الخاصة بها، وقد جاءت قيم ثابت هابل وعمر الكون التى توصلوا إليها وسطا بين قيم سانديج وفريدمان .

أى هذه القيم علينا أن نتقبلها ؟ فلكل هذه القياسات نفس النسبة من عدم التيقن التى تتراوح حول ٣٠ ٪ بالزيادة أو النقص ، ويخطط فلكيو التلسكوب الفضائى لقياس السفيدات فى عشرين مجرة أخرى ! بينما سيكتشف صائدو المستعرات العظمى المزيد من النوعين الأول والثانى ، ويحتاج مراقبو المستعرات العظمى لإجراء المعايرة إلى وجود بعض المستعرات العظمى فى نفس المجرات التى بها السيفيدات – "كعلامات للقياس" Measuring Posts ، لكن أغلب المستعرات من البعد بحيث يصعب قياس السيفيدات معها، والسفيدات الأبعد والأسرع تباعداً ميزة على مثيلاتها فى المجرات الأقرب : فهى أقل تعرضاً للتأثر بوضوح بالتجمعات المحلية للكتلة كما فى الجانب الأعظم الذى يمكن أن يرفع أو يخفض قياسات معدلات التمدد (على الرغم من أن وندى فريدمان ومعاونيها يزعمون أنهم قد أجروا تصحيحًا يتعلق بهذا التأثير فى نتائجهم)

ثم جاء اينشتاين بعد فترة وجيزة بمجموعة من الحلول لمعادلاته متضمنة مصطلح غامض أطلق عليه الثابت الكونى Cosmological Constant ومثل التضخم الذى يجبر الكون على التمدد بمعدل أكبر كثيراً مما تسمح به الجاذبية، فإن الثابت الكونى يكاد يصبح نوعًا من الجاذبية المضادة ، وبعد توصل الكسندر فريدمان إلى حلوله الأبسط والأكثر رشاقة فى العشرينيات – ندم أينشتاين على طرحه للثابت الكونى وسماه "الخطأ الأعظم فى تاريخى" ، ومع ذلك يميل علماء الكون الآن إلى إعادة بعث الثابت الكونى ؛ لأنه إذا استخدم كمؤشر قابل للتعديل فى نموذج الانفجار الرهيب (بالتضخم أو بدونه) فإنه يمكن أن يفسر التفاوت الكبير فى تقدير عمر الكون ، وبعبارة أخرى يؤدى هذا الثابت إلى معدل تمدد كبير، كمعدل وندى فريدمان، متفقاً مع عمر الكون يفوق عمر تجمعات النجوم بشكل واضح .

وكما رأينا فإن النموذج التضخمى يتطلب أن يكون الزمكان منبسطاً ، وأن تكون كثافة الكون بالكاد أعلى من الحد الأدنى اللازم ليصبح مغلقًا ، وقد نتمكن من اختبار هذا التنبؤ الهام قريباً باستخدام النوع الأول من المستعرات العظمى كشموع قياسية ، وبصرف النظر عن أسباب الانفجار الأصلى وعن تفاصيل لحظاته الأولى فإن تمدد الكون لابد وأن يتباطأ بسبب الجاذبية ، ويسمى هذا بالتباطؤ (Deceleration) وهو يرتبط ارتباط وثيقًا بكثافة الكتلة فى الكون ، فكلما زادت الكثافة زاد تأثير قوى الجاذبية إلى الداخل على كتلة الكون ومع ذلك يستطيع الثابت الكونى الذى له قيمة كبيرة أن يبطل هذا التباطؤ ويستبدل به تمدداً أكبر كلما تقدم العمر بالكون ، والذى ليس معروفاً هو كمية التباطؤ التى تحدث ، فإذا كان التباطؤ كبيراً فإن عالمنا مغلق وسينهار حتمًا ، وإذا لم يكن التباطؤ كبيراً بهذا الشكل فالتمدد قد يستمر إلى الأبد، وإذا توقف التضخم فإن التمدد سيتوقف فى لحظة اللانهاية ، مثل صخرة قذفت إلى أعلى بسرعة الهروب بالضبط .

ويعتبر تعيين التباطؤ فى الكون ، وبالتالى كثافة كتلته واحداً من أعظم التحديات فى علم الكون؛ ولقياس ذلك لا بد من مراقبة بعض أنواع الشموع القياسية على مسافات تفوق ملايين السنوات الضوئية، ولتعيين التباطؤ لا بد من إجراء الملاحظات من الكون المرئى الممتد لبلايين السنوات الضوئية .

وتتضمن الشموع القياسية الممكنة لهذا الغرض الأنواع القليلة من الأجرام التى يمكن مشاهدتها على مسافات شاسعة ، وبالتحديد المجرات وتجمعات المجرات والكوازارات والمستعرات العظمى ، أما نجوم السيفيدات المتغيرة فهى أكثر قدما بكثير، ويمكن رؤية المجرات بكثرة لمسافة بلايين السنين الضوئية لكنها لا تصنع شموعًا قياسية جيده لأنها مختلفة الحجم ؛ ولذلك فإن الفلكيين يستخدمون أحيانًا أكثر المجرات سطوعًا أو ثالث أسطع المجرات فى التجمع كشمعة قياسية ممكنة ، ومع ذلك فهذه القياسات على درجة عالية من عدم التيقن لأن المجرات البعيدة متقدمة جداً فى العمر ، وبالتالى فإنها قد لا تكون بنفس درجة السطوع الذاتى للمجرات المجاورة الأصغر، والأكثر من ذلك فإن المجرات قد تتجمع لتكون مجرات أكثر سطوعًا وقد توصل الفلكيون إلى أن المجرات البعيدة تتكون من أنواع مختلفة من النجوم وذلك بناء على أطياف هذه المجرات ؛ أما نجوم المجرات القريبة المجاورة فتحتوى على مادة أقل من العناصر الثقيلة .

وعندما بدأ ريتشارد مولر البحث الأتوماتيكى عن المستعرات العظمى، كان هدفه الأساسى هو إيجاد مستعرات عظمى يمكن أن تستخدم لتحديد التباطؤ، واليوم وبعد مرور خمسة عشر عامًا لم يقم المشروع بما هو منوط به لكنه أخذ يقترب من ذلك، لقد أصبح "سول بيرلموتر" و "كارل بنى بكر" - اللذان يشرفان على المشروع - على قناعة بأنهما يمكن أن يجدا عدداً كافيًا من تلك المستعرات لاستخدامها كشموع قياسية فى عملية اقتحام لمعضلة التباطؤ لحلها، وربما تكون مستعرات النوع الأول (أ) فصلا من أحداث قياسيه لعدة أسباب ، فجميعها نشأت عن أقزام بيضاء اقتنصت مادتها من نجوم مرافقة، وجميع مستعرات النوع الأول (أ) لها نفس الكتلة التى تبلغ حوالى ١,٤ كتلة الشمس . وتبين منحنيات الضوء لهذه المستعرات تجانسًا واضحًا . فعند أقصى سطوع لها لوحظ أن الضوء الناتج عنها يتفاوت بنسبة تقل عن ٢٥٪ وهو ثابت نسبيًا إذا ما قورن بدرجة عدم التيقن فى المجرات المشاهدة ، ومازالت إمكانية استخدام المستعرات العظمى من النوع الأول (أ) كمجموعة محل جدل إلا أنها تغرى بالاستخدام ؛ غير أن اكتشاف بضع عشرات منها على مسافات بعيدة بما فيه الكفاية قد يكافئ فريق علماء بيركلى على حل الأزمة المضنية لقياس التباطؤ فى تمدد الكون

الذى ظل يبحث عنه الفلكيون لعدة عقود، لكن ليس من السهل اكتشاف هذه المستعرات ، وحيث إنها خافتة فإنها تحتاج لاكتشافها ومتابعتها إلى تلسكوبات كبيرة ، ومن الصعب أن نجد الوقت الكافى فى المراصد الكبرى لأبحاث من هذا القبيل ، وعندما يجد الفلكى فسحة من الوقت فإن تقلبات الطيف قد تفسد كل شئ ؛ ويعنى ذلك عدم الحصول على بيانات أو الحصول على بيانات لا يمكن استخدامها .

وأيا ما استخدم كشموع قياسية سواء المجرات البعيدة أو المستعرات العظمى بها لقياس التباطؤ ، فإن ذلك يعتمد على حقيقة أن أطياف الأجرام البعيدة جداً مزاحة بعيداً فى اتجاه المنطقة الحمراء ، ويشاهد كل خط من خطوط الطيف المعروفة عند طول موجة أطول من تلك الخاصة بنفس الخط فى التجارب المعملية ، ويمكن استخدام طيف المستعرات العظمى نفسها أو طيف المجرات الأم لقياس الإزاحة الحمراء ، وفى كلتا الحالتين كلما زادت الإزاحة الحمراء ، كانت سرعة التباعد أكبر بين الأرض والمستعر الأعظم .

ولاستكشاف سر التباطؤ يحاول بيرلموتر وبنى بيكر اكتشاف حيود عن قانون هابل البسيط، وسيعتمد منحنى العلاقة بين السطوع الظاهرى والإزاحة الحمراء للمستعر الأعظم على التباطؤ فى الكون ، وستكون هذه العلاقة أكبر ما يمكن للمستعرات الأبعد (ولذا فإن لها أكبر إزاحة حمراء)، ولحساب المنحنيات النظرية فإن الفيزيائيين الفلكيين لا بد أن يعتمدوا على نموذج بسيط للكون ثم يقومون بحل معادلات النسبية العامة ، وعند مقارنة منحنيات الإزاحة الحمراء فإن القليل من المستعرات العظمى البعيدة جداً لها قيمة أعلى بكثير من العدد الأكبر الأقرب إلينا، ومستعراً أعظم واحد ذا إزاحة حمراء كبيرة على مسافة بلايين السنوات الضوئية عنا وله درجة سطوع مقاسة بدقة عالية يمكن أن يميز بين نماذج الكون المختلفة .

والمستعرات العظمى على هذا البعد تكون من العتامة لدرجة أنه من الصعب اكتشافها باستخدام التقنيات الفوتوغرافية الأقدم ، ومعظم المستعرات البعيدة قد انفجرت فى نفس الوقت الذى تكونت فيه الأرض منذ حوالى خمسة بلايين سنة ، وحتى كاميرات CCD المثبتة على أكبر التلسكوبات قد لا تستقبل إلا القليل من مئات الفوتونات

فقط من كل هذا الانفجار الغريب – وهى بالكاد تكفى لتتميز عن الخلفية القادمة من مجراتها الأم . ولكى ينجح بيتى بيكر وبيرلوتر كان عليهم أن يتولوا قيادة العملية بدقة عسكرية ، ولم تتطلب هذه المعضلة مجرد سهر الليالى الثمينة أمام أكبر تلسكوبات العالم فقط ، بل كانت تحتاج إلى مهارة سياسية لتنظيم شبكة من الفلكيين المستعدين للتعاون فى تتبع المشاهدات ، ومن الممكن أن تمنحنا التجمعات القديمة المئات من المجرات الواعدة فى كل صورة، لكن اكتشاف مستعر أعظم واحد فى فسحة معينة من الوقت يتطلب تصوير عشرات الآلاف من المجرات ، ولتحليل هذه اللقطات بسرعة كافية لابد من تطوير برمجيات كمبيوترية قادرة على مسح مئات المجرات فى ثوان معدودة ، واستبعاد درجات السطوع المختلفة التى تشبه المستعرات العظمى الحقيقية ، لكن لا بد أن يظلوا على استعداد لسهر الليالى الطويلة لتحديد المجرات المرشحة للدراسة بالعين المجردة . وبينما كانوا يمسحون مئات الآلاف من المجرات فى بداية عام ١٩٩٥ اكتشفوا سبعة مستعرات عظمى لها إزاحة حمراء عالية ، لكن كانت تلك هى البداية فقط؛ حيث كانت هناك العشرات من المستعرات العظمى على أبعاد فلكية جاهزة للا[ستك]شاف ، وقد نتمكن قريباً من حل أحد أكثر أسرار الكون غموضاً ونعرف سر ما...

الفصل الثالث والعشرون

عودة إلى الصدمات الثلاث العظمى

بدأ هذا الكتاب بسؤال من أين أتينا ؟ وللإجابة هذا التساؤل توصل العلماء في القرن العشرين إلى الكثير من النتائج المدهشة ووضع الكثير من النظريات الغريبة ، وبكل تأكيد فإن مواطنى القرون السالفة كانوا سيجدون كل هذا السجل من العنف الفائق – الذى ملأ الصفحات السابقة من الكتاب – مذهلاً كلية ، كانت الحياة أقل أمناً فى الأيام الماضية ؛ وربما كانت فكرة أن قذيفة غازية من الفضاء الخارجي يمكن أن تقضى على الكوكب فكرة أقل إثارة من الآن . واليوم يمدنا الإعلام بشكل متواصل بأخبار الكوارث فى كل مكان على الأرض مثل الزلازل المرعبة أو الحرائق والفيضانات والحروب ، فإذا ارتطم كويكب بقوة ميجا طن كما حدث فى ١٩٠٨ فى حادثة تونجوسكا ، ولكن فى منطقة مأهوله جداً بالسكان، فليس من الصعب تخيل ما يمكن أن يصنعه الإعلام ، ستكون هناك تغطية تليفزيونية شاملة، وجماعات غفيرة من المراسلين الصحفيين فى موقع الحدث، وعدد لا نهائى من المقابلات مع العلماء الذين يخمنون ما الذى يمكن أن يصبح عليه حالنا لو كان الارتطام أقوى .

ولكن حتى بعد هضم الفصول العشرة الأولى من هذا الكتاب ، فإن القارئ قد لا يتخيل أحداث انفجار رهيب مثل الذى حدث منذ ٦٥ مليون سنة : محرقة أصابت القارات بلهيبها وأدخلت العالم فى ظلام دامس ورفعت موجات الماء بارتفاع يقارب الميل عبر محيط قد تسممت مياهه ، ومن المحتمل بعد حدث مهم مثل هذا يستحق الإشادة فى أجهزة الإعلام، ألا توجد هناك فرق تليفزيونية أو صحف لتغطيته أو حتى(Email)– بريد إلكترونى– فالمتوقع أن ارتطام مذنب ذى دورة طويلة ، وحجمه من أكبر حجوم

...ئنات سوف يقضي تماماً على نوعنا على الأرض ، وربما ستكون الصراصير والنمل ...ثديات القوية مثل الفئران هي التي سترث الأرض ، وقد تتطور أخيراً وخلال نصف مليون ... أو ما يقرب من ذلك – حياة ذكية مرة أخرى ، وتكتشف ميدان الرماية الذي تقطنه .

...كان العلماء منذ قرن مضى يملكون حلولاً مبهمة عن العالم الدقيق جداً للذرات ...جسيمات الأولية ، لكن لم تكن لديهم معلومات كافية عنها، وكانت أية فكرة أو مقولة ... أصل المادة تقع في مجال التخمين المجرد؛ أما اليوم فنحن نملك إدراكًا كافيًا لفهم ...يزياء النووية بما في ذلك بيانات مفصلة عن أكثر من ١١٠ عنصراً كيميائيا والآلاف ... نظائرها، ومعلوماتنا النهائية عن المادة ليست كاملة ؛ لكن الفيزيائيين متفقون على ...وذج قياسي" للجسيمات الأولية والقوى التي تؤثر فيها، ويمدنا النموذج بإطار قوى ...سير كيف للجسيمات تحت الذرية أن تتحد لتكون ذرات بسيطة مثل الهيدروجين ...هليوم، وكيف يمكن للتفاعلات النووية أن تدمج وحدات بناء تلك الذرات في كل صور ...دة المعروفة عندما تتهيأ الظروف الفيزيائية المناسبة من ضغط ودرجة حرارة .

وبنهاية القرن التاسع عشر كان الفلكيون قد اكتشفوا وصنفوا عدداً لا يحصى ... النجوم ذات الألوان والأنواع المختلفة ومئات البقع الباهتة والغامضة في الفضاء ، ...يبدو أن بعض النجوم تعاني من دفعات من انفجارات دورية وتسمى النجوم الجديدة ...Nova ، وكانت هناك تفجرات قوية تشبه النجوم معروفة من الأزمنة القديمة ، ولم تكن ... التفجرات غير قابلة للتفسير فقط ، ولكن لم تكن هناك أية فكرة معقولة عند العلماء ... الأمر الذي جعل النجوم – ولنفس السبب الشمس – تسطع أصلاً ، واليوم نحن ...رف السبب : لأنها تزود تفاعلات الاندماج النووي الشمس والنجوم بقوتها وتجعلها ...درة على دمج الذرات مع بعضها لتصنع منها ذرات أكثر تعقيداً، وتستطيع النجوم ...ي تحترق لبلايين السنين أن تخلق عدداً قليلاً من العناصر غير كافٍ من أجل الحياة ، ...د اتضح أن انفجارات "المستعرات العظمى" القوية والغامضة والنادرة تتضمن أكثر ... سر من أسرار الحياة البيولوجية ، ولكن بالنسبة للنجوم نفسها فإنها تحمل معنى ...وت وإعادة الميلاد، فتحت تأثير الحرارة اللامعقولة والظروف العنيفة والانضغاط لنجم ...نيف منفجر– قامت تفاعلات الاندماج غير العادية بطهي العناصر الثقيلة اللازمة ...صنع عالمنا، وتنضم عادة النجوم التي تفجرت واندفعت إلى الفضاء بين النجوم على

شكل غبار وغازات إلى المادة غير الكثيفة، وفي النهاية وتحت تأثير شد الجاذبية الذي لا يقاوم – إلى الداخل تتجمع المادة التي أعيد تدويرها لتكون نجوماً جديدة بادئة بذلك فترة أخرى لتكوين العناصر، وما زالت العملية مستمرة ليومنا هذا.

وقد أضاءت النجوم النيوترونية الدوارة فائقة الكثافة التي تخلفت من انفجارات المستعرات العظمة، البقايا الهشة لآلاف السنين ، ويقذف المولد المغناطيسي لكل نجم نيوتروني بالجسيمات المشحونة في رحلات تستغرق ملايين السنين عبر الفضاء مولدة أخطاراً إشعاعية طويلة الأمد للحياة ، وتعترض هذه الرسائل الكونية الدقيقة – لكنها عالية الطاقة – سبل الحياة أينما تكونت ، وبواسطة تحطيم جزيئات دنا (DNA) وذلك بالتآزر مع مصادر نشاط الإشعاع الطبيعي على الأرض والتأثير الكيميائي على الجينات ؛ لتساعد في تنشيط التطور المستمر من خلال ظاهرة الطفرات الجينية، وحيثما تزدهر الحياة على السطوح المكشوفة للكواكب معتدلة الحرارة، فإنها ستكون معرضة بشدة للتصادمات غير المتوقعة مع كتل الصخر والجليد – أي المذنبات والكويكبات – وتعطي هذه الصدمات دفعة هائلة للتطور عن طريق اكتساح معظم ما تكون من قبل ، وبمجرد خفوت التأثيرات الهدامة للتصادمات فإن الناجين – إذا نجا أحد – سيتسابقون لملء كل المواقع المناسبة التي خلت باختفاء الآخرين ، وليس واضحاً ما إذا كانت مثل هذه الصدمات العظمى تقوم بخلط عشوائي لسطح الكوكب، أو أنها خطوة للأمام على طريق التطور في اتجاه أشكال "أرقى" للحياة ، وعلى الأرض فإن أحد السجلات المتاحة حاليًا تظهر أن القاطنين السائدين الآن– البشر – يبدون متفوقين على الأشكال الأقدم للحياة، لكن هذا قد يكون تحيزاً من جانبنا ، وعلى الجانب الآخر فإن الصدفيات وثلاثيات الفصوص والديناصورات والنمور سيفية الأنياب لم تنشئ أية حضارة (في حدود علمنا) ؛ لذا فربما يكون هناك بعض الأساس لغرور الإنسان .

وقد استبعدنا حتى الآن من حساباتنا الخطوة البيوكيميائية التي حولت الذرات والجزيئات في المجرة إلى كائنات حية (ومن المحتمل أن تكون إلهية) ، وقد عرض الكيميائيون مراراً الآلية الفيزيائية التي بنيت بها بعض جزيئات الحياة الأكثر تعقيداً من الجزيئات البسيطة ، ويعرف البيولوجيون كيف تتكاثر البنى الجزيئية البسيطة نسبيا مثل الفيروسات، وقد اكتشفوا بالفعل بنى بسيطة (Prions) قد تسبب الإصابة المعدية

سون دنا (DNA) وهم يستطيعون أن يقوموا بتجزئة الفيروسات الحية ثم إعادة تركيبها مرة ثانية .

وقد اكتشف الفلكيون تشكيلة مذهلة من الجزيئات العضوية في الفضاء السحيق وعلى متن المذنبات ، ويحتوى أحد أنواع النيازك الذي يسمى المحبب الكربوني Carbonaceous Chondrite على ستة عشر حمضاً أمينياً مختلفاً، ويؤدى كل هذا بمرور الوقت الكافي وتنوع الظروف الفيزيائية الخارجية بما فيه الكفاية، إلى نشوء أنظمة بسيطة قادرة بنفسها على تكوين أمثالها (هذه هي الحياة) من اللاحياة ؛ قد يكون هذا ما حدث هنا على الأرض ، أو قد تكون أول حياة قد وصلت إلى الأرض مع بقايا مذنب أو نيزك ، وحتى الآن لم يتمكن أحد من أن يتناول الكيماويات من على الأرفف ويصنع منها بطريقة أو بأخرى فيروساً مسبباً للعدوى أو بريون أو بكتيرة ، لكن تقدمنا في حيازة التقنية البيولوجية قد تجعل من هذا العمل الفذ أمراً ممكناً .

ويشير أحد الاكتشافات الحديثة إلى أن هناك مفاجآت كبرى عن طبيعة الحياة على الأرض ما زالت في انتظارنا، ويبدو أن البيولوجيين لم يقدروا بشكل كبير أهمية البكتريا التي تعيش في الصخور المدفونة تحت الأرض ، فالحياة تزدهر حتى على أعماق مئات الأمتار تحت سطح الأرض وفي أماكن مظلمة وفي ظروف تبدو معادية لذلك ، فالبكتريا اللاهوائية التي لا تحتاج إلى الأكسجين تعيش بأن تهضم الصخر نفسه ، وتنتج هذه البكتريا في فضلاتها الميثان المكون الرئيسي للغاز الطبيعي الذي يستخدمه في تدفئة منازلنا وفي الطهي ، وهذه البكتريا من الكثرة بحيث يمكن أن تكون أكثر من نصف الكتلة الحية (Biomass) أكبر حتى من الغابات والأدغال أو بلانكتون المحيط ، وتفتقر أماكن معيشتها إلى الكثير من وسائل الراحة التي يعتبرها الإنسان ضرورية للحياة الطيبة، ولكن لها ميزة علينا، فإذا ضرب كوكب الأرض – عدا الضربة المباشرة الكبيرة على تجمعاتها بالتحديد– فإن هذه البكتريا لا تتأثر مما يعني أنها بشكل أو بآخر – خالدة .

لم يكن ضمن السدم غير الواضحة التي اكتشفها فلكيو القرنين الثامن عشر والتاسع عشر– بقايا للمستعرات العظمى أو السحب العملاقة التي تتولد فيها النجوم .

وقد اتضح أن أغلبيتها تجمعات هائلة لبلايين النجوم البعيدة كالمجرات ، ويكمن في حركة المجرات الأبعد إلى الخارج حل أصعب أسرار أصولنا ومن بينها لغز كيف جاء أى شيء إلى الوجود، وتكوِّن المجرات المتطايرة عن بعضها بسرعات تقارب آلاف الكيلومترات في الثانية – نظاماً مترابطاً بالجاذبية الهائلة الذى كان يوماً ما أصغر وأسخن بكثير، ومن البيانات الكثيرة نجد من الصعب التغلب على فكرة أن تمدد المجرات الذى نراه الآن هو نتيجة انفجار مدوٍّ عملاق – أو انفجار رهيب Big Bang – بدأ من نقطة متناهية الصغر ودرجة حرارة لا نهائية أساساً، إلا أن أفضل النظريات المتاحة للجاذبية – النسبية العامة – تدفعنا إلى الاعتقاد بأن مفهومنا الدارج للحجم لا يمكن أن يصمد أمام تخيل العودة إلى البداية الافتراضية للكون ، والمقولات عن أن الكون كان على شكل نقطة داخل حجم أكبر وأكثر فراغاً منه ، هي مقولات غير صحيحة لأن الفضاء نفسه يكتسب بدقة خواصه من الكتلة المهولة الكائنة داخل العالم ، ولا يتواجد المكان والزمان إلا داخل الكون فقط ، ولا تفرض علينا النسبية العامة نموذجاً بعينه أو صورة معينة للكون ، ونحن لا نعرف ما إذا كان الكون الحالي محدد في ذاته به عدد محدود من المجرات (وكتلة محددة) أو كان في الحقيقة غير محدود .

ومن بين النماذج العديدة ، أو حلول معادلات النسبية العامة التي اقترحت فور إعلان نظرية أينشتاين في سنة ١٩١٥، لا يوجد نموذج واحد يستطيع أن يصف الكون الواقعي برمته إلا بعد تطويره وتنقيحه ، ونحن نملك الدليل على أن الكون قد قام بالتحليل مع ذاته أو بالتخليق من أي درجة من الانتظام في الكثافة ودرجة الحرارة في زمن أقل مما يستغرقه الضوء (أسرع مؤثر للتجانس) ليعبر من جانب إلى الجانب المقابل في الكون ، والدليل على ذلك هو التجانس الفائق للخلفية الإشعاعية الميكروية للكون ، التي تركت الكون المبكر في أقل من نصف مليون سنة منذ اللحظة التي بدأ فيها الانفجار الرهيب رحلته التي لم يعترضها شيء تجاهنا، لقد كان الكون في تلك اللحظة أكثر من خمسين مليون سنة ضوئية ، ولا يوجد تعارض هنا لأن الكون يمكن أن يتمدد أسرع من سرعة الضوء (وكان لابد له من ذلك في البداية) حتى إذا لم يكن أى شيء يحتوى على أى طاقة موجوداً أن يتحرك عبر الكون أسرع من سرعة الضوء، وتمدد الانفجار الرهيب Big Bang ببساطة هو تمدد الفضاء (المكان) ولا يوجد في النسبية ما يمنع تمدد الفضاء (المكان) أسرع من سرعة الضوء .

وهناك العديد من الحلول للخروج من معضلة التجانس، والتي يطلق عليها الفيزيائيون عادة معضلة الأفق ، ويفترض أحد هذه الحلول أن الكون كان دائمًا متجانسًا، ويجد معظم الفيزيائيين أن هذا الحل غير مقبول لأن درجة كبيرة جدًا من عدم التجانس الكمي كانت ضرورية لخلق الكون من اللاشيء ، وتقول نظرية أخرى هي نظرية التضخم بأن الكون قد مر بفترة وجيزة من التمدد فائق السرعة ، وكان على انفجار التضخم أن يحدث بسرعة أكبر من تلك التي تطلبتها النماذج المبكرة للانفجار الرهيب ، وكان لابد للتضخم أن يبدأ في منطقة من الفضاء داخل أفقه نفسه وذلك حتى تصبح هذه المنطقة متجانسة ، لقد كانت تلك المنطقة محددة مداها ٣×١٠^{-٢٧} من المتر ، أي أقل كثيرًا من قطر نواة الذرة ، وبنهاية فترة التضخم للتمدد المتسارع؛ أي بعد حوالي $١٠^{-٣٢}$ ثانية كان الكون قد نما بشكل أكبر كثيرًا؛ أما المنطقة من الفضاء التي كان عليها أن تتمدد فيما بعد لتصبح كوننا المرئي الآن فإنها ما زالت متجانسة ، الأمر الذي يوضح لماذا تبدو الموجات الميكروية الكونية متجانسة الآن .

ومن هذا المنطلق فإن الكون ككل ليس بالضرورة متجانسًا ، وقد يكون هناك عدم انتظام وراء الأفق المرئي اليوم ، ولا تعتمد نظرية التضخم بتجانس الكون ، لكنها فقط تجعل من المحتمل أن تكون المنطقة من الفضاء، التي يمكن أن نراها قد تمددت من منطقة سبق أن تجانست بفعل عمليات فيزيائية (أي أبطأ من سرعة الضوء) حدثت في المراحل المبكرة جدًا من الانفجار الرهيب (Big Bang) وفيما وراء مدى أنظارنا قد تكون هناك مناطق أخرى عانت من التضخم بشكل مغاير، وهي بذلك أبرد أو أسخن، أقل كثافة أو أكثف من الجزء الذي يخصنا من الكون ، ولم يصل المدى الذي يبعض هذه المناطق إلى بلايين السنوات الضوئية : لذا لا يمكن أن تحتوي على الحياة ، كما نفهمها ، حيث إن الحياة تتطلب تطور النجوم ليتم طهي العناصر الثقيلة فيها .

ويقض مضاجع معظم علماء الكون معضلة كبرى أخرى تتعلق بنظرية الانفجار الرهيب غير المعدلة، وهي أن معظم القياسات الموثوق بها لكتلة الكون تعطي قيمًا للكثافة في حدود ١/ ١٠ من القيمة "الحرجة" ، وهي الكثافة اللازمة لتجعل الكون مغلقًا ومحدودًا ، إلا أنه من غير المحتمل أن تكون تلك الكثافة قريبة بأي مدى من القيمة الحرجة إلا إذا كانت قد بدأت عند القيمة الحرجة بالضبط ، ويتطلب كُلٌ من

النموذجين المنغلق (المحدود) والمفتوح (اللامحدود) للانفجار الرهيب تغيرًا هائلاً في نسبة كثافة الكون إلى الكثافة الحرجة فيما بين بداية الكون واليوم ، وتماثل هذه النسبة تلك النسبة بين طاقة الجاذبية للكون وطاقة حركته، وكي تقترب هذه النسبة من واحد الآن فلابد لطاقة الجاذبية وطاقة الحركة في الكون المبكر جدًا أن تكون لهما نفس القيمة في حدود $(١/١٠)^{٦٠}$ ، وبعبارة أخرى فإن التمدد كان لابد أن يبدأ بالسرعة الكافية بالكاد لتجعله يظل يتمدد للأبد، ومن الصعب أن نتصور أن هذا قد حدث بمحض الصدفة، وربما كان وما زال كل جسيم في الكون مرتبطًا مع باقي الكون بالجاذبية وبطاقة مساوية تمامًا لطاقة سكونه ؛ أي كتلته مضروبة في ربع سرعة الضوء .

وتعرف مشكله الكثافة في بعض الأحيان بمشكلة التسطح (Flatness) لأن كونًا له كثافة حرجة يكون مسطحًا ؛ أي أن تحدب الفضاء لا يكون موجبًا كما في الكون المغلق ولا سالبًا كما في الكون المفتوح ، وتقدم نظرية التضخم حلاً لهذه المشكلة، وذلك بافتراض أن الكون كان من الكبر في زمن مبكر حتى إن الجزء المرئي منه يقترب جدًا من كونه مسطحًا الآن – والكون المسطح هو بالكاد مفتوح – وتتنبأ هذه النظرية بأن متوسط كثافة المادة اليوم قريبة جدًا من القيمة الحرجة، وحيث إن المادة المرئية هي حوالي عُشْر (١/ ١٠) الكثافة الحرجة فلابد أن تكون هناك مادة غير مرئية بكمية تكفي لتعويض هذا النقص ؛ هذا إذا كان التضخم صحيحًا، واليومَ كما رأينا فإن نظرية التضخم موضع شك لأن عمر الكون – كما تنبأت به تلك النظرية باستخدام القياسات الحديثة لثابت هابل – يبدو أقل من عمر بعض النجوم ، وهناك مشكلة أخرى في نظرية التضخم – حتى مع صورتها المعدلة – وهي أنها تتنبأ بوجود عدم انتظام في الكون المبكر من الضخامة بحيث لا تتفق مع التجانس الملحوظ في الموجات الميكروية الكونية .

ولا توجد مشاهدات مباشرة تؤكد نظرية التضخم ، لكن علماء الكون يتمسكون بها لأسباب مفهومة، وذلك إلى أن يجدوا نظرية أفضل ، والأكثر من ذلك أن النظريين يعجبون بالنظرية الكبرى الموحدة للجسيمات – وهي أساس نظرية التضخم – حيث إنها تساعد في تفسير الزيادة الملحوظة للمادة عن المادة المضادة في الكون ، وما زال علماء الكون يبحثون عن النظرية الكاملة، لكن وبكل تأكيد – على الأغلب – فإنها لابد

ان تتضمن كثيراً من مفاهيم نظرية الانفجار الرهيب كما هى مفهومة اليوم ، وكالعادة فإن مشكلة علم الكون اليوم هى الحصول على ما يكفى من بيانات يمكن بها وضع النظريات محل اختبارات عويصة، ويقدم تلسكوب هابل الفضائى سيلاً من الصور واضحة وضوحاً مذهلاً، وفى الطريق إلينا جيل جديد من التلسكوبات الأرضية الضخمة ، ويزيد فى مقدرة الفلكيين إضافة الكشافات من طراز (CCD) المحسنة والبصريات الملائمة وطاقة الكمبيوتر المطورة ، ولا يمر أسبوع إلا ويظهر مقال جديد فى الصحف يعلن عن اكتشاف مجرة "بعيدة جداً" أو أبعد مستعر أعظم شوهد على الإطلاق ، ومع كل اكتشاف مثل هذا تقترب بصيرتنا من العالم البعيد فى الماضى ليصبح أكثر وضوحاً ، ويتواصل البحث عن أصولنا.

التعليق على الصور

(١) صدمة المذنب شوميكر-ليفى ٩ ، الشظية Gعلى المشترى كما شوهدت فى مدى الأشعة تحت الحمراء فى ١٨ يوليو ١٩٩٤ ، والكرة النارية الهائلة الموجودة يسار أسفل الصورة أكبر من حجم الأرض ، وقد شوهدت بعد ١٢ دقيقة من الصدمة، أما فى طرف الصورة الأيمن فيرى موقع صدمة الشظية A كذلك ، الصورة نقلاً عن بيتر ماك (المرصد الوطنى الأسترالى) باستخدام تلسكوب ٣ متر فى سايدنج سبرنج - أستراليا.

(٢) القمر ، حيث ترى الحفر الكثيرة ، ومعظم الحفر المخروطية الكثيرة تكونت بواسطة قذائف هائلة منذ بلايين السنين ، وكما فى حالة الأجرام الأخرى فى المجموعة الشمسية : فإن تكون الحفر المخروطية بالصدمات يستمر بمعدل أقل إلى أن نصل إلى الوقت الحالى ، ولولا عوامل التعرية وانتشار النباتات ووجود المحيطات لكان لسطح الأرض نفس المظهر. لقد التقطت هذه الصورة بعد أن غادرت سفينة الفضاء أبولو ١٧ سطح القمر بقليل فى طريقها إلى الأرض . الصورة مهداة من وكالة ناسا.

(٣) الحفرة المخروطية لشهاب فى أريزونا تكونت نتيجة صدمة منذ حوالى ٥٠٠٠٠ سنة ، واتساعها ميل واحد تقريباً ، وهى أفضل حفرة مخروطية محفوظة على الأرض ، والصورة مهداة من دافيد ج. رودى - حفرة الشهاب شمال أريزونا.

(٤) حفرة ميد على كوكب الزهرة ، التقطت هذه الصورة الرادارية من سفينة الفضاء ماجيلان وتوضح حفرة ميد ، أكبر الحفر الناتجة عن الصدمات على الزهرة ، وقد شوهدت أكثر من ٩٠٠ حفرة لصدمات على الزهرة تتدرج من

بضعة كيلومترات فى اتساعها إلى ٢٨٠ كيلومتراً لحفرة ميد، ويمثل الشكل متعدد الحلقات نموذجًا للحفر الكبيرة جدا فى المجموعة الشمسية (الصورة مهداة من ناسا) .

(٥) حفرة تشيكسلوب. وتبين صورة الجاذبية حفرة تشيكسلوب-أكبر حفرة تصادم معروفة على الأرض وقطرها حوالى ١٧٠ كيلومتراً – وهى تختفى جزئيا تحت شبه جزيرة يوكاتان وجزئيا تحت البحر الكاريبى ، وقد اكتشفت الحفرة بقياس اختلافات الكثافة للصخر فى داخل بنيتها ، والتى تؤدى إلى اختلافات طفيفة فى قوى الجاذبية (الصورة مهداة من د فيرجيل ل. شاربتون من مركز الدراسات المتقدمة للفضاء) .

(٦) الكويكب إيدا. تم الحصول على اللقطة بواسطة سفينة الفضاء جاليليو من مسافة حوالى ٢٠٠٠ كيلومتر . وتظهر سطح الكويكب كثيف الحفر الذى يبلغ طوله ٥٥ كيلومتراً تقريباً، و إيدا هو الكويكب الثانى الذى أمكن تصويره من مسافة قريبة ، وقد تطلب الأمر استعمال الكمبيوتر بكثافة لإنتاج مثل هذه الصورة الدقيقة (الصورة مهداة من ناسا) .

(٧) نواة المذنب هالى. أخذت هذه الصورة المركبة بواسطة سفينة الفضاء جيوتو فى ١٤ مارس ١٩٨٦ ، وهى تظهر السطح المعقد لنواة مذنب هالى التى يبلغ طولها حوالى ١٥ كيلومتراً وعرضها ٨ كيلومترات ، وتستغرق دورة النواة حول نفسها ٥٤ ساعة تقريبًا، وتظهر إضاءة الشمس لنواة المذنب فى يسار الصورة ، والمساحات المضيئة هى مناطق نفث الغبار النشطة، وهذا الجسم أكبر إلى حد ما من الجسم الذى يعتقد أنه تسبب فى كارثة K-T منذ ٦٥ مليون سنة (الصورة مهداة من هارولد ريتسيما من مركز بول للطيران والفضاء) .

(٨) مذنب مركوس. التقطت الصورة فى ٢٦ أغسطس ١٩٥٧ ، وهو واحد من أروع المذنبات التى ظهرت فى السنوات الحديثة ، والجزء الطويل المستقيم

للمذنب فى اليسار يتكون من أيونات ، أما الجزء الأخفت إلى اليمين فيتكون من الغبار (الصورة مهداة من بالومر من معهد كاليفورنيا للتقنية) .

(٩) صورة بالراديو لبقايا المستعر الأعظم كاسيوبيا A ، ويحتمل أنه قد تبقى من المستعر الأعظم لسنة ١٦٨٠ ، والمادة المتمددة من عمق النجم تقتحم طريقها إلى الخارج خلال الغلاف المتكون من المادة المقذوفة من الطبقات الخارجية للنجم ، وهى تكون امتدادات مخروطية وتركيبات على شكل حفر فيما بينها. (الصورة مهداة من المرصد الوطنى للفلك الراديوى ، الذى يدار بواسطة الجامعات المتحدة. المراقبون هم أنجرهوفر ، براون ، جال ، بيرلى ، تافى) .

(١٠) الحلقات المحيطة بالمستعر الأعظم 1987 A والحلقات التى نشاهدها فى صور التلسكوب الفضائى يعتقد أنها تكونت من الضوء المنعكس على سحب الغبار النجمى الموجود فيما بين المستعر الأعظم و موقعنا، وقد أطلق عليه بعض الفلكيين 'صدى الضوء'(الصورة مهداة من ناسا) .

(١١) سديم السرطان فى برج الثور. مصدر للكثير من المعلومات عن انفجارات المستعرات العظمى وبقاياها، ويتكون سديم السرطان من شظايا تتمدد من انفجار شوهد على الأرض سنة ١٠٥٤ (الصورة مهداة من بالومر من معهد كاليفورنيا للتقنية) .

(١٢) صورة تجمع المجرات أبل ٣٧٠ مأخوذة بتقنية CCD للأعماق السحيقة فى السماء . التقطت هذه الصورة غير العادية بتلسكوب كيت- بيك ٤ متر بمعرفة دون جروم وسول بيرلنوتر، وتظهر فيها حفنة غنية بأكثر من ٤٠٠ مجرة منفصلة على مسافة حوالى ٤ بليون سنة ضوئية، وقد شوهد مستعران أعظمان عند تسجيل هذه اللقطة كما هو موضح بالأسهم، أما الخط اللامع المقوس القريب من منتصف الصورة فهو دليل على عدسات الجاذبية التى تؤدى إلى انثناء الضوء بواسطة الجاذبية القوية لحفنة المجرات (الصورة مهداة من دون جروم وسول بيرلنوتر) .

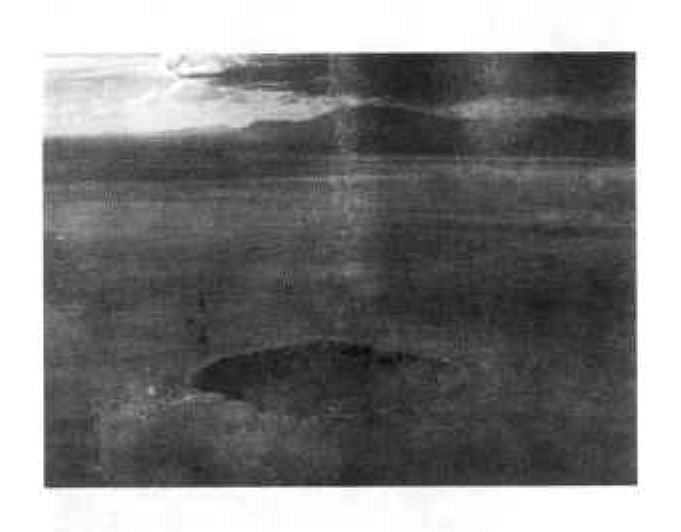
(١٣) المجرة العظمى فى أندروميدا ، وهى مجرة دوارة كبرى تشبه مجرتنا درب اللبانة و تقع على مسافة حوالى ٢.٣ مليون سنة ضوئية، وأندروميدا تندفع نحونا (أو نحن الذين نندفع نحوها) بمعدل يقترب من ٨٠ كيلومتراً فى الثانية (الصورة مهداة من بالومر فى معهد كاليفورنيا للتقنية) .

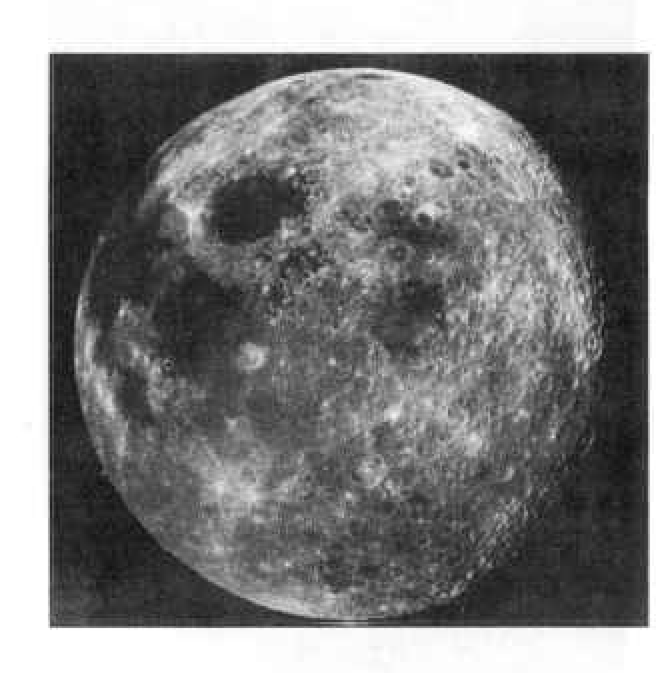
(١٤) د. ريتشارد مولر و د.مارك جورنشتاين يعملان على جهاز قياس أشعة الراديو "بيك" فى الطائرة U-2 (الصورة مهداة من جامعة كاليفورنيا- معمل لورنس بيركلى) .

(١٥) سماء الموجات الميكروية كما شوهدت بواسطة القمر الصناعى مكتشف الخلفية الكونية COBE ، وتظهر هذه السلسلة من الصور السماء فى الموجات الميكروية بعد مراحل متتالية من استبعاد الخلفيات ، وتوضح الصورة التى فى أعلى ما يعرف باسم "طبق السماء" الناتج من حركة الأرض فى الفضاء ، وفى الصورة الثانية تم استبعاد هذا المؤثر فظهر عدم الانتظام فى الموجات الميكروية التى وصلت إلينا من الانفجار الرهيب بعد حوالى ٥٠٠٠٠٠ سنة من بدايته ، والشريط الأفقى ناتج عن الانبعاث من مجرتنا درب اللبانة ، وفى الصورة السفلى تم استبعاد هذا الإشعاع كذلك ، والنمش فى هذه الصورة بزوايا مقدارها على الأقل ١٠ درجات - ما زالت من الكبر لتعبير عن أى تركيب ما زال يشاهد فى الكون الآن (الصورة مهداة من ناسا) .

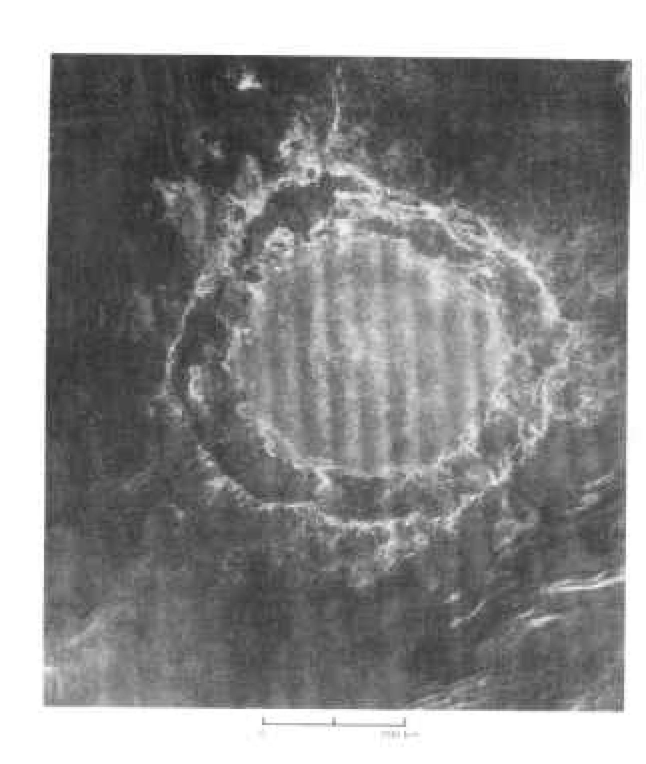
(١٦) صور CCD للمستعر الأعظم 1992bi، و هو أبعد مستعر أعظم اكتشف حتى الآن (تم اكتشاف مستعرات عظمى على مسافات أبعد بكثير بعد إصدار هذا الكتاب - المترجمان)، ويبين كل زوج من الصور المجرة المضيفة (إلى اليسار) و المستعر المستبعد (إلى اليمين)، ويمثل تدرج الصور فترة زمنية مقدارها ١٤٩ يوماً من لحظة ظهور المستعر الأعظم إلى لحظة اختفائه بعد شهرين ، وتبلغ الإزاحة الحمراء فى طيف المستعر الأعظم و المجرة Z=0.458 وهى تقابل مسافة حوالى ٤ مليون سنة ضوئية (الصورة مهداة من جامعة كاليفورنيا-معمل لورنس بيركلى) .



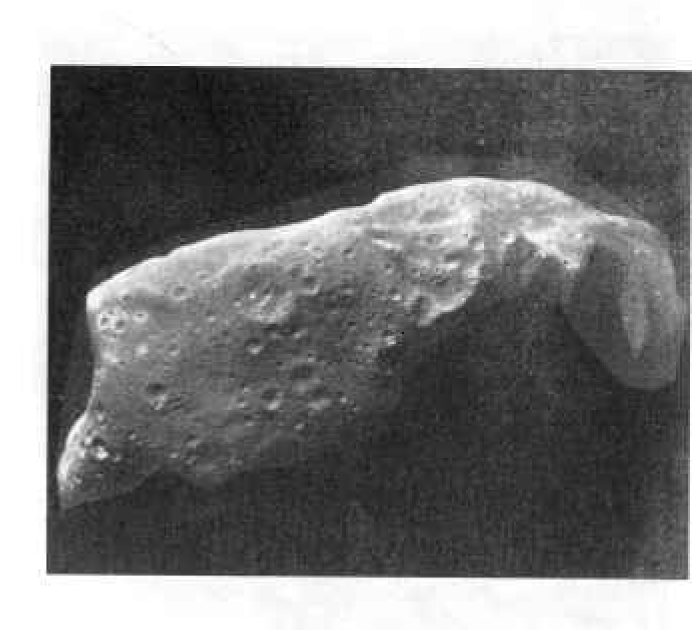












المراجع

General Books on Astronomy

Army, Thomas T. *Explorations, an Introduction to Astronomy.* (Mosby, St. Louis, 1994).

Calder, Nigel. *Violent Universe* (Viking Press, New York, 1969).

Kaufmann, William J. *Discovering the Universe.* (W. H. Freeman and Company, New York, 1993).

Morrison, David and Wolff, Sidney C. *Frontiers of Astronomy* (Saunders College Publishing, Philadelphia, 1990).

Sagan, Carl. *Cosmos* (Ballantine Books, New York 1980).

Schatzman, E. L. *The Structure of the Universe* (McGraw Hill, New York, 1968).

Asteroid and Comet Impacts

Chapman, Clark and Morrison, David. *Cosmic Catastrophes* (Plenum Press, New York, 1989).

Glass, Billy P. *Introduction to Planetary Geology* (Cambridge University Press, Cambridge, 1982).

Hartmann, William K. and Miller, Ron. *The History of Earth* (Workman Publishing, New York, 1991).

Hsu, Kenneth J., *The Great Dying.* (Hartcourt Brace Jovanovich, San Diego, 1986).

Muller, Richard. *Nemesis—The Death Star* (Weidenfeld & Nicolson), New York, 1988).

Gardner, Martin. *The Relativity Explosion* (Vintage Books, New York, 1976).

Hawking, Stephen. *A Brief History of Time* (Bantam Books, New York, 1988).

Kolb, Edward and Turner, Michael. *The Early Universe* (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1990).

Lemonick, Michael. *The Light at the Edge of the Universe* (Villard Books, New York, 1993).

Lightman, Alan. *Ancient Light, Our Changing View of the Universe* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1991).

Silk, Joseph. *The Big Bang*, second edition (W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1995).

Trefill, James. *Space Time Infinity* (Pantheon Books, New York, 1985).

Thorne, Kip S. *Black Holes & Time Warps*. (W. W. Norton and Company, New York, 1994).

Weinberg, Steven. *The First Three Minutes*, updated edition (Basic Books/ Harper Collins, New York 1988).

New Developments Regarding the KT Event and Other Catastrophes in Earth History (Lunar and Planetary Institute, Houston, 1994).

Raup, David M. *The Nemesis Affair, A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science* (W. W. Norton, New York, 1986).

Raup, David M. *Extinction, Bad Genes or Bad Luck* (W. W. Norton, New York, 1991).

Sagan, Carl and Druyan, Ann. *Comet* (Random House, New York, 1985).

Taylor, Stuart Ross. *Solar System Evolution* (Cambridge University Press, Cambridge, England, 1994).

Supernova Explosions

Asimov, Isaac. *The Exploding Suns* (Dutton, New York, 1985).

Clayton, Donald C. *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis* (McGraw-Hill, New York, 1968).

Fowler, William A. *Nuclear Astrophysics* (American Philosophical Society, Philadelphia, 1965).

Genet, Russell, Hayes, Donald, Hall, Donald and Genet, David. *Supernova 1987A: Astronomy's Explosive Enigma* (Fairborn Press, Mesa Arizona, 1985).

Marschall, Lawrence A. *The Supernova Story* (Plenum Press, New York, 1988).

Murdin, Paul and Murdin, Leslie. *Supernovae* (Cambridge University Press, London, 1985).

Shklovskii, I.S. *Stars, their Birth, Life, and Death* (W. H. Freeman, San Francisco, 1975).

Trimble, Virginia. *Visit to a Small Universe.* (American Institute of Physics New York, 1992).

Trimble, Virginia. *Supernova: Part I and Part II* (Reviews of Modern Physics, 54 and 55, October 1982 and April 1983).

Big Bang Cosmology

Abbott, Edwin A. *Flatland, A Romance of Many Dimensions* (Dover Publications, New York, 1952).

Alfven, Hannes. *Worlds-Antiworlds, Antimatter in Cosmology* (W. H. Freeman, San Francisco, 1966).

Gamow, George. *One Two Three . . . Infinity* (Bantam Books, New York, 1971).

فيليب دوبر وريتشارد مولر

" صحفيان " أمريكيان .

من الكتاب المتخصصين فى الكتابة عن الكون والأحداث التاريخية البعيدة .

معروفان للعلماء فى شتى التخصصات بدأبهما ومثابرتهما .

يعايشان الأبحاث التى يتناولانها فى كتاباتهما .

ريتشارد مولر مؤلف الكتاب الشهير " نمسيس - نجم الموت " .

هذا الكتاب أول عمل مشترك لهما .

د/ فتح الله محمد إبراهيم الشيخ

أستاذ بجامعة جنوب الوادى ، سوهاج .

المستشار العلمى لرئيس الجامعة .

بكالوريوس علوم الإسكندرية ١٩٥٨

دكتوراه جامعة منداليف ، موسكو ١٩٦٤

مترجم ومراجع لعدة كتب عن عالم المعرفة والمنظمة العربية ببيروت ودار سطور والمجلس الأعلى للثقافة والعلوم بالكويت .

له أكثر من ٧٠ بحثًا فى التخصص وحوالى ٦٠ مقالاً باللغة العربية فى العلوم وكتابان حديث العلم عن الماء وحديث العلم عن الهواء .

مدير مركز دراسات الجنوب بجامعة جنوب الوادى وعضو مجلس إدارة مراكز البيئة وتسويق الخدمات الجامعية والمشروعات الصغيرة والمتناهية الصغر .

مدير مشروع الخطة الاستراتيجية لتوكيد الجودة بجامعة جنوب الوادى .

د/ أحمد عبد الله السماحى

بكالوريوس علوم جامعة الإسكندرية ١٩٥٧

دكتوراة من جامعة ويلمنجتون بولاية دليور بأمريكا .

أستاذ بجامعة جنوب الوادى .

نائب رئيس جامعة أسيوط وجامعة جنوب الوادى سابقًا .

رئيس فرع الجامعة بسوهاج .

له عدة ترجمات ومـــؤلفات صـدرت عن المنظمة العربيــة للترجمـــة ببيروت

سطور .

مدير مركز تسويق الخدمات الجامعية .

له أكثر من ٨٠ بحثًا فى التخصص .

رئيس مجلس إدارة جمعية تنمية المجتمع للأطفال ذوى الاحتياجات الخاصة .

عضو مجلس إدارة العديد من مراكز الوحدات الخاصة بجامعة جنوب الوادى .

المشروع القومى للترجمة

المشـروع القومـى للترجمـة مشـروع تنميـة ثقافيـة بالدرجـة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحـيـاز إلى كل مـا يؤسس لأفكار التـقـدم وحضـور العلم وإشـاعـة العـقـلانيـة والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمـة الأصول المعرفيـة التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقـافـة الإنسانية المعاصرة، جنبًا إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .